



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

Fundada en 1867

Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil  
Av. 12 de Abril s/n, Cuenca

**ANÁLISIS DE ESCENARIOS Y ESTUDIO DE UN BALANCE  
HÍDRICO CON APLICACIÓN AL EMBALSE MACUL 1 EMPLEANDO EL  
PROGRAMA -HEC-ResSim**

Tesis previa a la obtención  
del Título de Ingenieras Civiles

Director:  
**Ing. Felipe Eduardo Cisneros Espinoza Ph.D.**

Tutor:  
**Ing. José Vicente Tinoco Ochoa**

Autoras:  
**Magaly Verónica Celi Contreras**  
**María Alexandra Vélez Arcentales**

Cuenca – Ecuador  
Octubre, 2013

## **RESUMEN**

El proyecto PACALORI tiene como objetivo fundamental el control de inundaciones y el abastecimiento de agua para riego, por lo que se construirán presas cuyos embalses se utilizarán para el almacenamiento del agua de riego, siendo uno de estos el embalse Macul 1 con una capacidad de almacenamiento de 57'000.000 m<sup>3</sup>. Para el análisis del comportamiento operacional de este embalse se realiza un balance hídrico y luego una simulación a través del programa computacional HEC-ResSim tanto en la época de invierno (diciembre a mayo), como de verano (junio-noviembre) de distintos escenarios como son: un año de invierno intenso, sequía extrema y condiciones normales.

Para el estudio del área a la que el embalse Macul 1 va a dotar de agua para riego se ha considerado información de la etapa de prefactibilidad del proyecto, facilitada por el Programa para Manejo de Agua y del Suelo (PROMAS) de la Universidad de Cuenca.

Los resultados obtenidos de este análisis indican el comportamiento del embalse en cada uno de los escenarios indicados pudiendo analizar su funcionamiento en cualquier mes del año, de esta manera proporciona posibles soluciones para la optimización del funcionamiento del embalse.

**Palabras Claves:** Escenario, Balance, Análisis, Embalse, HEC-ResSim

### **ABSTRACT**

The PACALORI project has as its main purpose to control the flood and water supply for irrigation, for which dams will be built whose reservoirs would store water for irrigation, one of which is the reservoir Macul 1 with a storage capacity of 57'000.<sup>000m<sup>3</sup></sup>. To analyze the operational behavior of this reservoir water balance is performed and then a simulation through a computer program called HEC-ResSim is done in the winter season (December to May) as in the summer (June - November) of different scenarios, since it's a year of intense winter, extreme drought and normal conditions.

For the study of the area to which the reservoir Macul 1 will provide water for irrigation is being considered in the stage of information-feasibility of the project, provided by the Program for Soil and Water Management (PROMAS) at the University of Cuenca.

The results of this analysis indicate the behavior of the reservoir in each of the scenarios listed and we can analyze their performance in any month of the year, thus providing solutions for optimizing the operation of the reservoir.

**Key words:** Stage, Balance, Analysis, Reservoir, HEC-ResSim

## CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS .....	6
LISTA DE TABLAS .....	7
CAPÍTULO 1 .....	14
1. INTRODUCCIÓN .....	14
1.1. ANTECEDENTES .....	14
1.2. ALCANCE .....	15
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	15
1.4. OBJETIVOS .....	16
1.4.1. General .....	16
1.4.2. Específicos .....	16
CAPÍTULO 2 .....	17
2. MARCO TEÓRICO .....	17
2.1. NOCIONES GENERALES SOBRE EMBALSES .....	17
2.1.1. Definición .....	17
2.1.2. Clasificación de embalses .....	17
2.1.3. Estructuras que conforman los embalses .....	17
2.1.4. Características de los embalses .....	17
2.2. BALANCE HÍDRICO .....	19
2.2.1. Introducción .....	19
2.2.2. Definición y periodo básico .....	20
2.2.3. Elementos del balance .....	21
2.2.4. Balance hídrico en embalses .....	23
2.3. MODELACIÓN MATEMÁTICA .....	24
2.3.1. Introducción .....	24
2.3.2. Uso de modelos matemáticos hidráulicos - hidrológicos .....	24
2.3.3. Tipos de modelos matemáticos y clasificación .....	25
2.3.4. Metodología de la construcción de un modelo .....	26
2.4. PRINCIPIOS DEL SOFTWARE DE SIMULACIÓN HEC-ResSim .....	28
2.4.1. Introducción .....	28
2.4.2. Análisis de simulación .....	29
2.4.3. Reglas de operación .....	30
2.4.4. Metodología de funcionamiento de HEC-ResSim .....	31

CAPÍTULO 3 .....	38
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	38
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO .....	38
3.2. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	39
3.2.1. Ubicación .....	39
3.2.2. Cobertura vegetal .....	40
3.2.3. Clima .....	40
3.2.4. Aprovechamiento hídrico .....	41
3.2.5. Delimitación de la cuenca del río Macul .....	41
3.3. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA .....	42
3.3.1. Recolección y preparación de datos .....	42
3.3.1.1. Precipitaciones .....	43
3.3.1.2. Evaporaciones .....	43
3.3.1.3. Caudales .....	43
3.3.1.4. Riego .....	43
3.3.2. Selección de escenarios .....	44
3.4. CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL EMBALSE MACUL 1 .....	47
3.4.1. Balance hídrico para el embalse Macul 1 .....	47
3.4.2. Ubicación del embalse .....	49
3.4.3. Volumen de embalse y área de inundación vs cota de embalse .....	49
3.4.4. Presa Macul 1 - Trasvase Quevedo-Macul y Macul-Maculillo .....	51
3.5. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DEL FUNCIONAMIENTO DEL EMBALSE MACUL 1 MEDIANTE HEC-ResSim .....	53
3.5.1. Procedimiento general de ingreso de datos .....	53
3.5.2. Funcionamiento de embalse y metodología para análisis de escenarios .....	57
CAPÍTULO 4 .....	60
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	60
CAPÍTULO 5 .....	75
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	75
CONCLUSIONES .....	75
RECOMENDACIONES .....	77
REFERENCIAS .....	78
ANEXOS .....	80
Anexo 1. Mapa del área del proyecto PACALORI .....	81



Anexo 2. Mapa de cobertura vegetal .....	82
Anexo 3. Tabla de lluvias medias mensuales. Cuenca del Macul Est. Pte. Carretero .....	83
Anexo 5. Caudal medio diario en la estación Macul en Hacienda Brasilia. Invierno 1964-1965.....	85
Anexo 6. Caudal medio diario en la estación Macul Hacienda Brasilia. Año Seco 1967-1968.....	86
Anexo 7. Caudal medio diario en la estación Macul en Hacienda Brasilia. Año Normal 2005-2006 .....	87
Anexo 8. Balance Hídrico hoja electrónica. Año Normal 2005-2006 .....	88

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> Esquema de niveles de un embalse	18
<b>Figura 2.2.</b> Elementos del balance hídrico	21
<b>Figura 2.3.</b> Clasificación de los modelos Matemáticos.	25
<b>Figura 2.4.</b> Curva guía y zonas constantes de un embalse según HEC-ResSim	31
<b>Figura 2.5.</b> Curva guía y zonas estacionales de un embalse según HEC-ResSim	31
<b>Figura 2.6.</b> Módulos que componen HEC-ResSim	32
<b>Figura 2.7.</b> Módulo Watershed setup	33
<b>Figura 2.8.</b> Módulo Reservoir Network	34
<b>Figura 2.9.</b> Módulo Simulation	37
<b>Figura 3.1.</b> Ubicación de la Zona de Estudio	39
<b>Figura 3.2.</b> Delimitación del área de estudio de la cuenca del río Macul	42
<b>Figura 3.3.</b> Precipitaciones acumuladas. Cuenca del Macul en Puente Carretero (1964-2010)	45
<b>Figura 3.4.</b> Caudales medios diarios. Escenario Año lluvioso (1964-1965)	45
<b>Figura 3.5.</b> Caudales medios diarios. Escenario Año seco (1967-1968)	46
<b>Figura 3.6.</b> Caudales medios diarios. Escenario Año normal (2005-2006)	46
<b>Figura 3.7.</b> Curva cota-área-volumen. Presa Macul 1	50
<b>Figura 3.8.</b> Curva de descarga. Conducción Macul-Maculillo	52
<b>Figura 3.9.</b> Curva de descarga. Vertedor de excesos embalse Macul 1	53
<b>Figura 3.10.</b> Sistema de corrientes-Cuenca del Macul. Módulo watershed HEC-ResSim	54
<b>Figura 3.11.</b> Reservoir Editor en HEC-ResSim –Información física	55
<b>Figura 3.12.</b> Reservoir Editor en HEC-ResSim –Información de niveles de operación	55
<b>Figura 3.13.</b> Reservoir Editor en HEC-ResSim –Información de evaporación	56
<b>Figura 3.14.</b> Transferencia de series de tiempo a archivos HEC-DSS	57
<b>Figura 4.1.</b> Gráfica de elevación y flujo de entrada y salida para el embalse Macul 1. Escenario: Año Normal	63
<b>Figura 4.2.</b> Gráficas de flujo de salida del embalse. Escenario: Año Normal	64
<b>Figura 4.3.</b> Gráfica de almacenamiento y flujo de entrada y salida para el embalse Macul 1. Escenario: Año Normal	65
<b>Figura 4.4.</b> Gráfica de elevación y flujo de entrada y salida para el embalse Macul 1. Escenario: Año Lluvioso	68
<b>Figura 4.5.</b> Gráficas de flujo de salida del embalse. Escenario: Lluvioso	69
<b>Figura 4.6.</b> Gráfica de almacenamiento y flujo de entrada y salida para el embalse Macul 1. Escenario: Año Lluvioso	70
<b>Figura 4.7.</b> Gráfica de elevación y flujo de entrada y salida para el embalse Macul 1. Escenario: Año Seco	72
<b>Figura 4.8.</b> Gráficas de flujo de salida del embalse. Escenario: Seco	73
<b>Figura 4.9.</b> Gráfica de almacenamiento y flujo de entrada y salida para el embalse Macul 1. Escenario: Año seco	74

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.</b> Formatos de archivos soportados por ResSim	32
<b>Tabla 3.1.</b> Proporción de cobertura vegetal	40
<b>Tabla 3.2.</b> Evaporaciones	43
<b>Tabla 3.3.</b> Aportes de las propias cuencas para el llenado de embalses	47
<b>Tabla 3.4.</b> Cotas-Área de inundación-Volumen. Embalse Macul 1	49
<b>Tabla 3.5.</b> Características generales. Embalse Macul 1	50
<b>Tabla 3.6.</b> Características generales. Presa Macul 1	51
<b>Tabla 3.7.</b> Características generales. Conducciones	52
<b>Tabla 3.8.</b> Niveles de operación para el embalse	58





## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, Magaly Verónica Celi Contreras, autor de la tesis "ANÁLISIS DE ESCENARIOS Y ESTUDIO DE UN BALANCE HÍDRICO CON APLICACIÓN AL EMBALSE MACUL 1 EMPLEANDO EL PROGRAMA -HEC-ResSim", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniera Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, Octubre de 2013

Magaly Verónica Celi Contreras  
0104550728

*Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999*

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail [cdjbv@ucuenca.edu.ec](mailto:cdjbv@ucuenca.edu.ec) casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, María Alexandra Vélez Arcentales, autor de la tesis "ANÁLISIS DE ESCENARIOS Y ESTUDIO DE UN BALANCE HÍDRICO CON APLICACIÓN AL EMBALSE MACUL 1 EMPLEANDO EL PROGRAMA -HEC-ResSim", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniera Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, Octubre de 2013

María Alexandra Vélez Arcentales  
0105818066

---

*Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999*

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail [cdjbv@ucuenca.edu.ec](mailto:cdjbv@ucuenca.edu.ec) casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, Magaly Verónica Celi Contreras, autor de la tesis "ANÁLISIS DE ESCENARIOS Y ESTUDIO DE UN BALANCE HÍDRICO CON APLICACIÓN AL EMBALSE MACUL 1 EMPLEANDO EL PROGRAMA -HEC-ResSim", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, Octubre de 2013

Magaly Verónica Celi Contreras  
0104550728

*Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999*

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316  
e-mail [cdjbv@ucuenca.edu.ec](mailto:cdjbv@ucuenca.edu.ec) casilla No. 1103  
Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, María Alexandra Vélez Arcentales, autor de la tesis "ANÁLISIS DE ESCENARIOS Y ESTUDIO DE UN BALANCE HÍDRICO CON APLICACIÓN AL EMBALSE MACUL 1 EMPLEANDO EL PROGRAMA -HEC-ResSim", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, Octubre de 2013

María Alexandra Vélez Arcentales  
0105818066

*Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999*

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316  
e-mail [cdjbv@ucuenca.edu.ec](mailto:cdjbv@ucuenca.edu.ec) casilla No. 1103  
Cuenca - Ecuador

## DEDICATORIA

Dedico a mis padres Arnoldo y Esperanza que con su apoyo incondicional siempre me han dado la valentía para salir adelante, a mis hermanas y amigos que han sido siempre una luz en mi camino y sobre todo le dedico a Dios por enseñarme a seguir el camino del servicio a los demás y saber comprender el gran amor que nos da cada día a través de una sonrisa.

A mi amiga y compañera de tesis Alex.

***Magaly***

Dedico este trabajo a mis padres que han sido el pilar fundamental de mi vida, por todo su apoyo brindado durante cada uno de los días de mi existencia, por ayudarme a cumplir mis metas y lograr alcanzar mis sueños, por estar siempre ahí, cuando más los necesito.

A mi compañera de tesis Magaly y a todos mis amigos.

***Alexandra***

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarnos la sabiduría necesaria para poder culminar esta tesis, y a nuestros padres por su incondicional apoyo, sacrificio y abnegación.

Al Programa para el Manejo del Agua y el Suelo PROMAS – Universidad de Cuenca, por habernos dado la oportunidad de trabajar en este proyecto, de manera especial a nuestro Director al Ing. Felipe Cisneros PhD. y Tutor Ing. Vicente Tinoco por su apoyo y asesoramiento para la realización de la presente tesis.

***Magaly y Alexandra***

## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1. ANTECEDENTES

La costa ecuatoriana es la zona más poblada del Ecuador, grandes áreas de esta región como es el caso de la provincia de los Ríos presentan un desequilibrio natural tanto temporal como espacial en la distribución del recurso hídrico, puesto que en el invierno (Diciembre-Mayo) el escurrimiento del agua origina grandes inundaciones y en el verano (Junio-Diciembre) se producen sequías extremas. Por lo que es indudable, que esta situación restringe el desarrollo no solamente del sector urbano, sino también del sector rural por la inexistencia de una garantía en el suministro de agua tanto para potabilización como para riego.

Para mejorar de manera sustentable y sostenible la calidad de vida de los ciudadanos, en la provincia de Los Ríos se implementará el proyecto Plan de Aprovechamiento y Control de Agua de la Provincia de los Ríos (PACALORI). Este proyecto consistente de grandes obras de infraestructura hidráulica que permitirán almacenar agua durante la época lluviosa y usarla durante la época seca. Con ello se logrará disminuir el desequilibrio temporal y espacial de la disponibilidad de agua, lo que ayudará a corregir y subsanar los problemas de sequías e inundaciones, y garantizar un acceso equitativo al agua.

El proyecto PACALORI en la presente etapa comprende un Plan de Obra que contempla, para el área del proyecto, los siguientes trasvases: Traslase Quevedo-Macul1-Macullillo-Macul2, Traslase Quevedo-Mocache-Garzas-Mangas Saibas-La Angostura, Traslase Calabí-Lechugal2-Chojampe2-Chojampe-Estero Lechugal y Traslase Calabí-Lechugal2-Aguacatal-Pueblo Viejo; los cuales durante la estación húmeda, operarán en caso de ausencia de agua lluvia en áreas de cultivos y serán una ayuda al control de aguas en las sub cuencas hidrográficas donde se encuentran localizados. Entre las obras con las que contará el proyecto se encuentran: obras de toma, estructuras de derivación, transporte de agua por túneles, presas de almacenamiento-embalses, vías de acceso, estaciones de bombeo.

El almacenamiento del agua en los embalses durante la época lluviosa, permitirá garantizar el suministro de agua para riego durante el verano, así como también al control de inundaciones para prevenir daños causados por desbordamiento durante una creciente, en defensa de las poblaciones y áreas cultivadas.

## **1.2. ALCANCE**

Considerando que la principal funcionalidad del embalse es garantizar la demanda de agua para riego en verano a través de su almacenamiento durante el invierno, el presente estudio pretende analizar el comportamiento del embalse Macul 1 a través de un balance hídrico para distintos escenarios de tiempo (invierno intenso, sequía extrema y año normal) con la implementación del programa computacional Hec-ResSim. A partir de esta información se analizará si para un periodo de tiempo dado el embalse mantiene el volumen y niveles requeridos, así también se conocerá su funcionamiento para las condiciones dadas y como se puede mejorar si se requiriera.

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

El Plan de Aprovechamiento y Control de Agua de la Provincia de los Ríos (PACALORI) tiene como finalidad entre otros aspectos satisfacer la necesidad básica de riego de los cultivos, es por ello la necesidad de construir presas para almacenamiento de agua de manera que se pueda aprovechar al máximo los recursos hidráulicos superficiales en esta región. El embalse Macul 1 almacenará agua y también regularizará el flujo de corrientes que provocan inundaciones periódicamente en importantes áreas de la zona.

De esta manera la información obtenida a través de la modelación computacional permitirá establecer el comportamiento de la operación del embalse en distintos escenarios durante la vida útil del proyecto.



## 1.4. OBJETIVOS

### 1.4.1. General

- Analizar diferentes escenarios y estudiar el balance hídrico del embalse Macul 1 a través del programa Hec-ResSim.

### 1.4.2. Específicos

- Analizar el comportamiento operacional del embalse Macul 1 para diferentes escenarios como son: año normal, sequías extremas e inviernos intensos.
- Analizar la variación de volúmenes en el embalse Macul 1 considerando el aporte hacia el embalse Maculillo.
- Brindar posibles soluciones para la optimización del recurso hídrico.

## CAPÍTULO 2

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. NOCIONES GENERALES SOBRE EMBALSES

##### 2.1.1. Definición

Se define a un embalse o reservorio como una gran acumulación de agua, generado principalmente por el represamiento de uno o varios ríos.

##### 2.1.2. Clasificación de embalses

Según su origen los reservorios se pueden clasificar en: *naturales y artificiales*.

- **Embalses naturales:** son consecuencia de derrumbes de laderas o acumulaciones de hielo, generalmente tienen una vida corta.
- **Embalses artificiales:** son consecuencia de una represa de tierra o de hormigón. Este tipo de embalses son empleados con los siguientes objetivos: generación de energía, riego, control de inundaciones, control de sedimentos, navegación, entre otros.

##### 2.1.3. Estructuras que conforman los embalses

Un embalse presenta las siguientes estructuras básicas:

- **Presa:** es la estructura de retención de aguas. Entre las características más importantes que debe mostrar están: la impermeabilidad y estabilidad.
- **Aliviadero:** estructura que descarga los excedentes que llegan al embalse, es decir, evacúan las máximas crecientes que llegan hacia él.
- **Obras de toma:** son un conjunto de estructuras formado por una estructura de entrada o toma, un túnel o conducto a través de la presa y una estructura de salida. Su función es entregar agua a los sistemas de distribución.

##### 2.1.4. Características de los embalses

Entre las características más sobresalientes de un embalse se encuentran:

- **Curvas de áreas y capacidades**

Las curvas de áreas y capacidades llamadas también curvas cota-área-volumen permiten conocer gráficamente los volúmenes capaces de ser almacenados y las áreas a ser inundadas para cualquier altura de la presa. Estas a su vez permiten

seleccionar varias alternativas que presenten mayores capacidades para una misma altura de la presa.

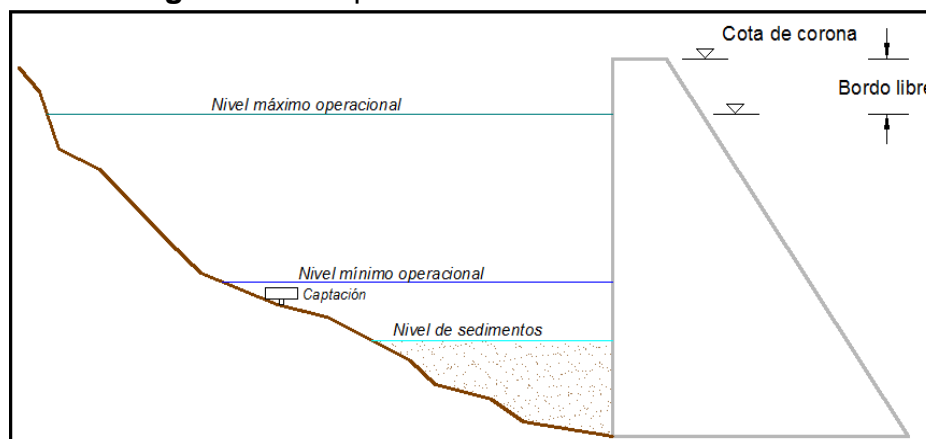
- **Niveles característicos de los embalses**

**Nivel mínimo:** considerado el nivel más bajo que puede alcanzar el embalse (nivel de sedimentos); coincide con el nivel mínimo de la toma situada en la menor cota.

**Nivel mínimo operacional:** es el nivel por debajo del cual las estructuras asociadas al embalse y la presa no operan u operan en forma inadecuada.

**Nivel máximo operacional:** al llegarse a este nivel se comienza a verter agua con el objetivo de mantener el nivel pero sin causar daños aguas abajo. La Figura 2.1 muestra los diferentes niveles existentes en un embalse.

**Figura 2.1.** Esquema de niveles de un embalse



**Nivel del vertedero:** si la presa está equipada con un vertedero libre, el nivel de la solera coincide con el nivel máximo operacional.

**Nivel para la avenida de proyecto:** es el máximo nivel que se alcanza en el embalse, considerando su acción laminadora, cuando recibe la avenida de proyecto.

**Altura de la presa:** es aquella altura existente entre la corona de la presa y el fondo del cauce.

**Bordo Libre:** es la distancia que existe entre la corona de la presa y el nivel máximo operacional.

- **Volúmenes característicos de los embalses**

**Volumen de sedimentos:** estimado mediante estudios de hidráulica fluvial y de transporte de sedimentos. Los diseños deben asegurar que haya suficiente espacio de almacenamiento de sedimentos para que durante los años de operación

proyectados, los sedimentos no obstaculicen el funcionamiento de las estructuras de captación.

**Volumen muerto:** está asociado al volumen de sedimentos, se considera como el volumen almacenado hasta alcanzar el nivel mínimo.

**Volumen útil de almacenamiento:** es el volumen comprendido entre el nivel mínimo y el nivel máximo operacional. Se lo utiliza para abastecer las demandas y las pérdidas de agua durante un período determinado de funcionamiento del embalse. Cuando el volumen útil es menor que el volumen requerido entonces el embalse no está en capacidad de suministrar la demanda durante todo el tiempo y se presentan fallas en el suministro con el consiguiente racionamiento.

**Volumen de laminación:** volumen comprendido entre el nivel máximo operacional y el nivel de avenida máxima, se lo utiliza para reducir el caudal vertido en las avenidas y así limitar los daños aguas abajo.

- **Caudales característicos de los embalses**

**Caudal firme:** es el caudal máximo que se puede retirar del embalse en un período crítico. Se considera como periodo crítico al año hidrológico en el cual se ha registrado el volumen aportado mínimo.

**Caudal regularizado:** es el caudal que se puede retirar del embalse durante todo el año hidrológico, este caudal generalmente se encuentra asociado a una probabilidad.

## **2.2. BALANCE HÍDRICO**

### **2.2.1. Introducción**

El balance hídrico es el análisis integral de la oferta de agua y la demanda de este recurso dentro de una cuenca, es decir, analiza sus entradas y salidas a lo largo de un determinado tiempo, considerando los cambios de almacenamiento interno, bajo diferentes escenarios. Con el tiempo se ha desarrollado diversas modificaciones al sistema original de balance hídrico para poder utilizarlos en diversos campos como: agricultura, actividad forestal, planificación y manejo de recursos naturales.

El objetivo de desarrollar el balance hídrico es el de establecer un sistema de equilibrio basado en las precipitaciones y evapotranspiraciones, si se mide la precipitación y los caudales de una cuenca en forma regular y sistemática, se puede establecer los valores totales de agua que entran desde la atmósfera hacia la

cuenca y el valor de la cantidad total de agua que sale como escorrentía superficial. La diferencia entre las entradas y las salidas en un periodo de tiempo determinado dependen de: el cambio de almacenamiento de agua dentro de la cuenca en lagos, depresiones topográficas o acuíferos subterráneos, la diferencia entre el flujo subterráneo que entra y el que sale de la cuenca; y la evaporación real en la cuenca o sistema de embalse.

A través del balance hídrico se genera información útil para el manejo de los recursos naturales, sobretodo el rendimiento hídrico de las cuencas. A la vez la comprensión clara del balance y su relación con controles de clima, vegetación, suelo, y topografía llevan a un adecuado análisis sobre la predicción de inundaciones, efecto de sequía, cantidad y calidad de agua.

### **2.2.2. Definición y periodo básico**

El balance hídrico es un equilibrio de todas las entradas y salidas de agua desde un sistema y hacia él, considerando la diferencia entre las entradas y salidas como la tasa de variación de almacenamiento, por tanto:

$$E - S = \pm \Delta A \qquad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

$E$ : entradas al sistema

$S$ : salidas del sistema

$\Delta A$ : cambio en el volumen almacenado en el tiempo

La Ec. 1 es conocida como ecuación de continuidad o de conservación de masa. Por lo que, la cantidad de agua almacenada en cualquier punto de un sistema hidrológico se considera simplemente en términos de la diferencia entre el agua entrante y el agua saliente del sistema.

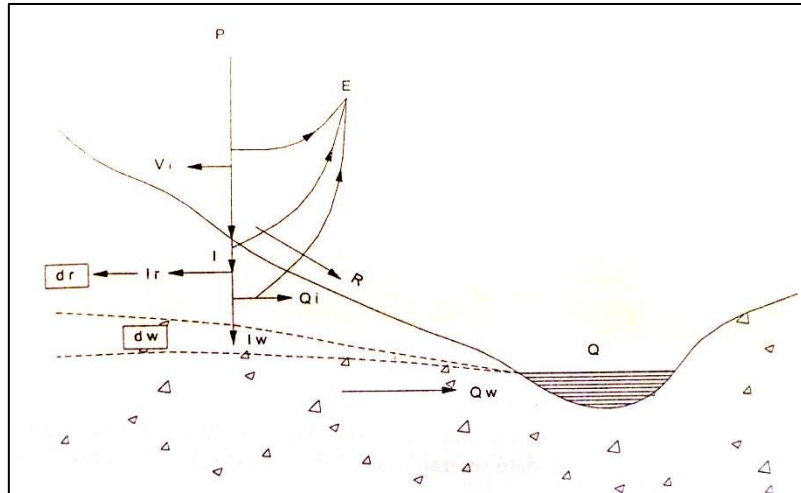
Un balance puede calcularse para cualquier intervalo de tiempo, pero deberá hacerse una distinción entre balances medios y balances para periodos determinados (tales como un año, una estación, un mes o un número de días), llamados algunas veces balances operacionales (Heras Rafael, 1982).

Los balances hídricos para valores medios se calculan para un ciclo anual (año calendario o año hidrológico), aunque también pueden hacerse para cualquier estación o mes.

### 2.2.3. Elementos del balance

Al analizar una zona determinada, de una cuenca hidrográfica, con presencia de precipitación ( $P$ ) como lo indica la Figura 2.2, se obtiene lo siguiente:

**Figura 2.2.** Elementos del balance hídrico



**Fuente:** Iñiguez, 2003

- Una parte se evapora
- Otra se transpira
- Otra parte es interceptada por la vegetación:  $V_i$
- Otra parte escurre por la superficie del suelo:  $R = \text{escorrentía}$
- Otra parte se infiltra en el subsuelo:  $I = \text{infiltración}$

$ET = \text{evapotranspiración}$

Entonces, los principales elementos del balance hídrico son:

- |                              |      |
|------------------------------|------|
| • La precipitación           | $P$  |
| • La infiltración            | $I$  |
| • La evapotranspiración      | $ET$ |
| • El caudal saliente         | $Q$  |
| • La escorrentía superficial | $R$  |

### **Precipitación**

La precipitación es el agua procedente de la atmósfera, que de forma sólida o líquida se deposita sobre la superficie de la tierra (Rodríguez Rosa & Capa Benito, 2004). Este fenómeno puede presentarse en forma de: lluvia, llovizna, nieve, neblina y granizo. La precipitación es el factor principal para controlar el sistema hidrológico local.

### ***Infiltración***

La infiltración se define como el movimiento descendente del agua que atraviesa la superficie y penetra el perfil del suelo; este proceso recarga los suministros de agua subterránea y pone agua a disposición de la vegetación (COMET, 2006).

A menudo los términos infiltración y percolación se usan como sinónimos, pero en realidad percolación se refiere específicamente al movimiento del agua dentro del suelo, mientras la infiltración se refiere a la penetración del agua en la superficie del suelo.

La tasa o velocidad de infiltración es la cantidad de agua que penetra el suelo en un determinado período, esta se ve afectada directamente por factores tales como la textura, la cobertura, el contenido de humedad, la temperatura del suelo, el tipo de precipitación y la intensidad de la lluvia.

La capacidad de infiltración, se expresa en términos de profundidad de agua por unidad de tiempo, normalmente en centímetros por hora o pulgadas por hora.

### ***Evaporación***

La evaporación es el paso del agua del estado líquido al estado gaseoso. Puede producirse evaporación siempre que el agua líquida entre en contacto con la atmósfera (COMET, 2006). En las regiones áridas, pueden evaporar hasta 2.000 mm al año de una superficie de agua.

Existen varias maneras de medir la evaporación, entre las que tenemos: el tanque de evaporación (método sencillo), el uso de lisímetros y mediciones meteorológicas. Hay varias características físicas que afectan a la evaporación, como son: la temperatura del aire, la temperatura del agua, el movimiento del aire sobre la superficie del agua y el déficit de presión de vapor.

### ***Transpiración***

La transpiración se la define como la pérdida de agua, mediante la evaporación, (Quezada, Román, & Castañeda, 2002). Está regida por las mismas leyes físicas que la evaporación pero sólo ocurre cuando hay actividad fotosintética de la planta (durante el día).

### ***Evapotranspiración***

La evapotranspiración es la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Esta

cantidad de vapor de agua que transpira una planta, varía día a día con los factores ambientales que actúan sobre las condiciones fisiológicas del vegetal y determinan la rapidez con que el vapor del agua se desprende de la planta, siendo los principales:

- **Radiación solar:** comprende la luz visible, radiaciones infrarrojas y ultravioleta. Esta luz influye en la apertura de las estomas lo cual provoca la pérdida de agua de la planta en forma de vapor.
- **Humedad relativa:** cuando la presión de vapor es mayor, más lenta será la evapotranspiración.
- **Temperatura:** influye en la velocidad, puesto que si más alta es la temperatura más alta es la difusión de vapor de agua de las hojas.
- **Viento:** un aumento en la velocidad del viento, significa una mayor evapotranspiración, sin embargo, la evapotranspiración aumenta por los efectos de una brisa suave (0 a 3 km/hora).

### ***Caudal o aportación del río***

El caudal medio es la característica básica de los ríos. La determinación exacta del caudal o aportación del río depende de la exactitud de la medida y el cálculo del caudal de la variación del mismo, de la duración del período de observaciones y de la densidad de la red de estaciones de aforo (Van Der Made, J.W., 1972).

El caudal medio de un río, como concepto estadístico, es la media aritmética de las series de valores observados.

### ***Escorrentía superficial***

La escorrentía (o escurrimiento) es aquella porción de la lluvia que no llega a infiltrarse en el suelo. A medida que el suelo se satura, la capacidad de infiltración se reduce (COMET, 2006). La cantidad de escorrentía directa varía según las condiciones de humedad del suelo.

#### **2.2.4. Balance hídrico en embalses**

La ecuación del balance hídrico para embalses, de acuerdo a Iñiguez, 2003, en un intervalo determinado de tiempo, puede expresarse como:

$$Q_{sl} + Q_{ul} + P_L + E_L + Q_{so} + Q_{uo} + \Delta S_L = 0 \quad \text{Ec. 2}$$

Dónde:



$Q_{SI}$ : Caudal de entrada de agua superficial dentro del lago o embalse

$Q_{ul}$ : Flujo de entrada correspondiente al agua subterránea

$P_L$ : Precipitación sobre la superficie del lago

$E_L$ : Evaporación desde la superficie del embalse

$Q_{SO}$ : Caudal de salida del agua superficial desde embalse

$Q_{uo}$ : Flujo de salida de agua subterránea, incluyendo la filtración a través de la presa

$\Delta S_L$ : Variación de agua almacenada en el embalse, durante período del balance hídrico considerado

## 2.3. MODELACIÓN MATEMÁTICA

### 2.3.1. Introducción

Los modelos matemáticos al ayudar a la resolución de problemas, ofrecen la ventaja de analizar la solución a estos en forma segura, rápida y sin grandes gastos económicos; por lo que son aplicados en diversas áreas de estudio como lo es la ingeniería y sus ramas: Estructuras, Hidráulica, Hidrología, Geotecnia, etc.

Los algoritmos numéricos permiten, apoyándose en la potencia de cálculo de los ordenadores, verificar las cualidades del objeto estudiado en una forma no accesible para los enfoques teóricos.

### 2.3.2. Uso de modelos matemáticos hidráulicos - hidrológicos

Un modelo hidrológico es una representación simplificada de una parte o de todo un sistema hidrológico real. La hidráulica y la hidrología utilizan estos modelos para:

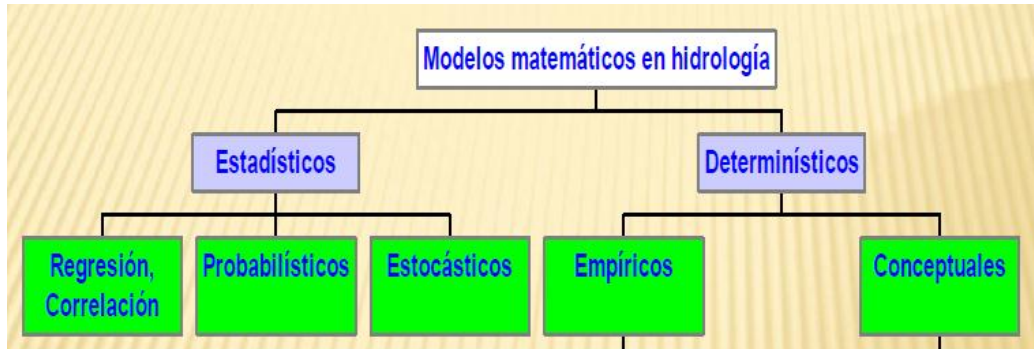
- Análisis de sistemas y procesos hidrológicos a diferentes escalas en tiempo y espacio
- Diseño de estructuras hidráulicas como represas, canales, sistema de drenajes, etc.
- Manejo de sistemas de agua (reservorios, sistema de drenaje, etc.)
- Predicción de impactos por cambios (clima, uso de suelo, uso de agua, etc.)
- Predicción de calidad de agua

Comúnmente la mayoría de modelos son descritos como un conjunto de ecuaciones matemáticas, analizadas por un sistema operativo (A. Van Griensven & W. Bauwens, s. f.).

### 2.3.3. Tipos de modelos matemáticos y clasificación

Los modelos matemáticos se clasifican como modelos físicos (determinísticos) y estadísticos (estocásticos), como lo indica la Figura 2.3.

**Figura 2.3.** Clasificación de los modelos Matemáticos.



**Fuente:** (Dr. Khalidou M. Ba, s. f.)

**Modelos Determinísticos:** tienden a establecer relaciones cuantitativas de causa-efecto, por medio de una ecuación empírica o por medio de un operador desarrollado a partir de criterios e hipótesis experimentales. En este tipo de modelos no se considera la probabilidad de ocurrencia de valores y de variables implicadas en el proceso.

Un modelo determinístico se utiliza en el caso que se disponga de poca información, como se da en las obras de ingeniería hidráulica, donde se tiende a reconstruir indirectamente la evolución de los escurrimientos y flujos superficiales a partir del conocimiento de los eventos de lluvia diaria, de la cual se dispone generalmente series temporales de datos (Chávarri Velarde Eduardo A., 2008).

En este tipo de modelos las funciones que relacionan las entradas y las salidas, definen el comportamiento del sistema sin que se tenga en cuenta ley o distribución de probabilidad alguna. Dada una función de entrada y sus variables y parámetros se obtiene una función de salida perfectamente definida.

Los modelos determinísticos se dividen en modelos lineales y no lineales. En los *modelos lineales*, el comportamiento de las variables se puede describir por una relación o ecuación diferencial lineal mientras que en un *sistema no lineal*, la variable, o alguna de sus derivadas, pueden ser elevadas a una potencia distinta a uno. Si los coeficientes de la ecuación son constantes el sistema es invariable en el

tiempo, si en cambio uno o varios son funciones del tiempo ( $t$ ), el sistema lineal es variable en el tiempo (Fattorelle Sergio, 2011).

Los modelos determinísticos se subdividen a su vez en modelos conceptuales y empíricos. Los *conceptuales* son considerados como una integración de datos en base a un tiempo continuo y fundamentado en mecanismos y leyes físicas. Los *modelos empíricos* pueden ser cualquier ecuación matemática que, para una entrada dada, produce una salida.

**Modelos Estadísticos:** se basan métodos y técnicas estadísticas para hacer notar relaciones de entrada y salida, en concordancia con el interés secundario de los procesos físicos del sistema. Los modelos estadísticos propiamente dichos se clasifican en:

- **Modelos de regresión y correlación.-** en estos modelos se desarrollan relaciones numéricas funcionales mediante el tratamiento estadístico de datos experimentales y los transforman y/o cuantifican en términos de coeficientes de correlación, límites de confianza y pruebas de comprobación.
- **Modelos probabilísticos.-** utilizan la noción de frecuencia para analizar el comportamiento de un fenómeno hidrológico. La información que se utiliza para la calibración debe ser independiente del tiempo. La muestra disponible para caracterizar la población y/o el proceso físico hidrológico es generalmente limitada, en la extrapolación de resultados se debe considerar un concepto de riesgo o error probable que el modelo debe cuantificar y considerar.
- **Modelos estocásticos.-** la información que utiliza se considera como datos históricos a manera de secuencia cronológica. Este tipo de modelos se utiliza frecuentemente para la predicción a corto plazo y largo plazo de series hidrológicas, pero es necesario la comparación de las series observadas y simuladas (Chávarri Velarde Eduardo A., 2008).

#### **2.3.4. Metodología de la construcción de un modelo**

Los modelos y la realidad están relacionados a través de dos procesos: la abstracción y la interpretación. El primero obliga a encontrar los elementos importantes del problema, para saber si el elemento es o no importante se tiene que ver su efecto relativo en la evolución del sistema. En cuanto a la interpretación, es

necesario entender la manera en la que los componentes del modelo y su comportamiento puedan estar relacionados con las características y comportamiento del sistema real que se quiere modelar.

En la fase de abstracción, se tiene que: establecer ciertas hipótesis, definir las variables y desarrollar las ecuaciones matemáticas adecuadas para resolver el problema. La fase siguiente es tratar de simplificar las herramientas matemáticas utilizadas. Los resultados que se deducen del modelo matemático deben permitir efectuar algunas predicciones sobre el mundo real. Posterior a esto se tiene que recoger datos de la situación de la que se ha extraído el modelo y compararlos con las predicciones; si las predicciones coinciden con la realidad, entonces las hipótesis son correctas y también lo son las variables definidas. Caso contrario si se observan discrepancias es necesario construir otro modelo más apropiado y fiable.

La creación de un modelo matemático es un proceso progresivo, por lo que, se requiere de algunos pasos como:

- **Formulación del problema**

La formulación del problema hidrológico es un paso fundamental, ya que se debe considerar el conocimiento de la información requerida para el análisis del modelo, como el periodo de modelación y las escalas de tiempo y espacio.

- **Evaluación de datos**

La confiabilidad de los datos disponibles es esencial para obtener un modelo con resultados cercanos a la realidad, por lo que, la complejidad del modelo tiene que estar en armonía con la calidad de datos, esto se restringe por el costo y la precisión con la que los datos se pueden medir.

Para el desarrollo de un modelo representativo se deberá evaluar: a) la representatividad de los datos: distribución espacial, exactitud y tiempo de resolución de los datos, b) los datos de posibles alternativas y c) la posibilidad de obtener datos adicionales.

- **Definición de un modelo adecuado**

Cuando el problema se ha definido y la disponibilidad de datos se ha evaluado, la estructura del modelo como procesos y variables deberán ser definidas, por lo que, ya se puede desarrollar un simulador. La principal ventaja de desarrollar un modelo

propio se basa en la comprensión detallada del problema que se está intentando resolver.

- **Calibración del modelo**

Consiste en la óptima configuración de los parámetros del modelo, es decir, realizar un ajuste entre las variables tanto calculadas por el modelo y las observadas.

- **Verificación del modelo**

Después del proceso de calibración se debe verificar el correcto funcionamiento del modelo, usando un set de datos observados que no fueron previamente usados para la calibración (A. Van Griensven & W. Bauwens, s. f.).

### ***Terminología utilizada en modelación***

**Sistema.-** elemento separado de un todo en base a los propósitos a ser investigados.

**Modelo.-** descripción simplificada de un sistema, representando aspectos esenciales del mismo.

**Simulación.-** experimento virtual que muestra el comportamiento de una parte de la realidad.

**Variables.-** valores que se relaciona a una condición eventual del sistema y que varía en espacio o en tiempo, o, en ambos.

**Constantes.-** son aquellos que tienen siempre el mismo valor.

**Parámetros.-** valores que caracteriza un sistema y que deben cambiar para diferentes aplicaciones.

**Fenómeno.-** proceso físico o evento que produce la alteración en el estado de un sistema.

**Datos.-** información que sirve para el modelo.

**Calibración.-** comparación entre los valores calculados por el modelo y los medidos en el sistema real.

## **2.4. PRINCIPIOS DEL SOFTWARE DE SIMULACIÓN HEC-ResSim**

### **2.4.1. Introducción**

Los embalses son construidos y operados para múltiples propósitos tales como: control de inundaciones, generación de energía, uso recreativo, riego, además de la seguridad estructural de la presa. Cada una de estas necesidades impone

restricciones en el almacenamiento y liberación del suministro de agua, por lo que se han creado modelos de simulación de almacenamiento que ayudan a optimizar el buen funcionamiento del embalse.

El HEC Reservoir System Simulation (HEC-ResSim) es un modelo de simulación de embalses que ha sido desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EEUU, para ayudar a predecir el comportamiento de un embalse y de acuerdo a esto determinar las salidas de agua durante la operación del día a día del mismo.

HEC-ResSim es único entre los modelos de simulación de embalses, pues ayuda a la toma de decisiones para un mejor funcionamiento de los reservorios (USACE-User's Manual). La naturaleza generalizada de HEC-ResSim, su esquema flexible para describir la operación de los embalses y sus nuevas y potentes características, hacen que sea aplicable para modelar casi cualquier sistema de almacenamiento de usos múltiples.

El programa representa el comportamiento físico de sistemas de almacenamiento por medio de una combinación de cálculos hidráulicos para flujos a través de las estructuras de control, y de tránsito hidrológico para representar el desfase y la atenuación de los flujos a través del cauce del río.

HEC-ResSim ha progresado a través de tres grandes versiones, y su procedimiento de decisión se ha vuelto más complejo para satisfacer las necesidades del usuario.

#### **2.4.2. Análisis de simulación**

Los modelos de simulación usan entradas (hidrología), operaciones (reglas de decisión) y balance de masas dentro de la cuenca (conectividad) para representar el comportamiento hidrológico de un sistema de embalses (Wondye Fanuel, 2009). El desarrollo del sistema implica seleccionar indicadores de flujo y/o almacenamiento, cuyos objetivos y características el modelador las considera importantes. Entre los indicadores se pueden incluir: niveles de almacenamiento del embalse, flujos de entrada a las corrientes, generación hidroeléctrica, riego, abastecimiento de agua, derivaciones.

Para una simulación, el modelador primero ejecuta cálculos usando indicadores seleccionados para un caso base, representando así el comportamiento hidrológico existente del sistema. Posterior a ello, el modelador desarrolla una serie de alternativas para analizar el comportamiento del sistema cambiando características

del embalse como son: asignación de almacenamiento, reglas de operación, demandas, niveles, etc. y ejecuta cálculos para estas hipótesis. Por último, el modelador compara los resultados de los casos base con los de las hipótesis planteadas. El objetivo del trabajo de simulación consiste en la formulación de varias alternativas que deber ser ejecutadas y sus resultados comparados y explicados.

### 2.4.3. Reglas de operación

HEC-ResSim utiliza un enfoque basado en normas con el fin de imitar la toma de decisiones operativas que siguen los operadores de los reservorios en el establecimiento de los calendarios de lanzamiento. Al igual que como lo haría un operador, el HEC-ResSim, para procesos de descarga de agua del embalse considera variables tales como: época del año, condiciones hidrológicas, temperatura del agua, y operaciones simultáneas con otros embalses dentro del sistema (USACE-User's Manual).

En la mayoría de los embalses, los requerimientos y limitaciones de flujo varían dependiendo del nivel de agua en el reservorio. Dado esto, las reglas cambian dependiendo de la cantidad de agua almacenada. HEC-ResSim describe esta dependencia dividiendo la piscina del embalse en zonas (Ver Figura 2.4) y aplicando un conjunto de diferentes normas a cada una de las zonas de trabajo en el reservorio. Por defecto ResSim crea tres zonas dentro de un embalse: *Flood control*, *Conservation* e *Inactive*. Una zona de operación es descrita por una curva de elevación de agua (puede ser una constante o puede variar estacionalmente) que representa la parte superior de la zona. Cuando el nivel del agua en la piscina exceda la parte superior (o fondo) de una zona, sus reglas no se pueden aplicar para toma de decisiones.

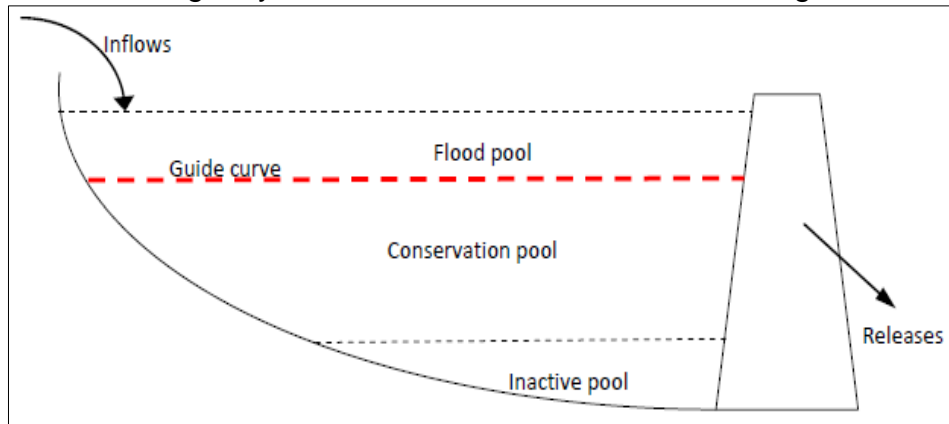
Un embalse en HEC-ResSim debe tener una elevación de destino, esta elevación comúnmente llamada *Curva guía* es representada como una función del tiempo. La curva guía, como se muestra en la Figura 2.4 y Figura 2.5, es la línea divisoria entre la zona superior del reservorio (llamada zona de control de inundaciones) y la zona inferior (zona de conservación).

Cuando altos flujos de entrada invaden la zona de inundación y elevan el almacenamiento por encima de la curva guía, el embalse requiere liberar agua tan rápidamente como sea posible; cuando el nivel de la piscina está por debajo de la curva guía, el reservorio requiere liberar menos agua de la que está



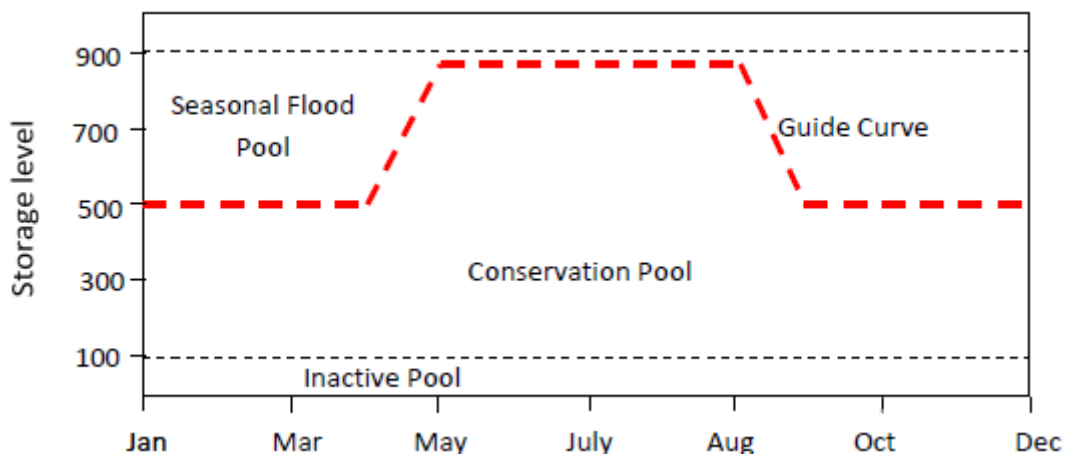
entrando. Todas las reglas de operación y las limitaciones físicas actúan como restricciones de almacenamiento con el objetivo de volver a la piscina a su curva guía.

**Figura 2.4.** Curva guía y zonas constantes de un embalse según HEC-ResSim



**Fuente:** (Wondye Fanuel, 2009)

**Figura 2.5.** Curva guía y zonas estacionales de un embalse según HEC-ResSim

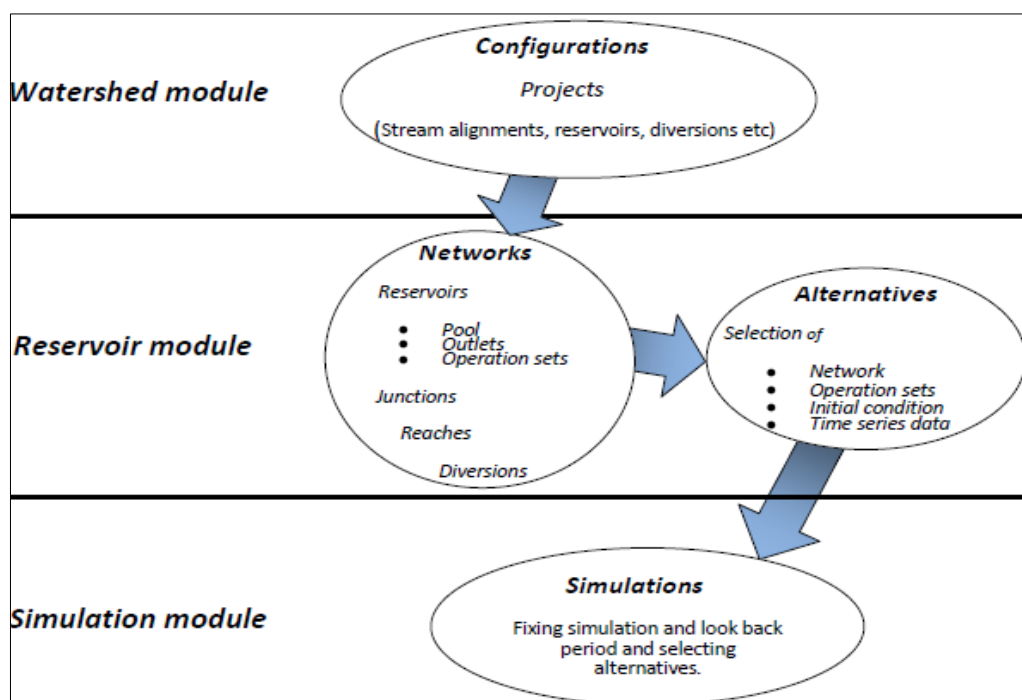


**Fuente:** (Wondye Fanuel, 2009)

#### 2.4.4. Metodología de funcionamiento de HEC-ResSim

HEC-ResSim ofrece tres conjuntos de funciones llamados módulos, los cuales proveen el acceso a directorios y datos específicos de la configuración en curso. Estos módulos son: *Watershed Setup*, *Reservoir Network* y *Simulation*. Cada módulo tiene un único propósito y se encuentra asociado a un conjunto de funciones accesibles a través de menús y barras de herramientas. La Figura 2.6 ilustra los elementos básicos de modelamiento disponibles en cada módulo.



**Figura 2.6.** Módulos que componen HEC-ResSim


**Fuente:** (Wondye Fanuel, 2009)

### ▪ Módulo Watershed Setup

En este módulo se pueden ensamblar elementos que describen la disposición física de una cuenca. Una vez que un *watershed* ha sido creado, es posible importar mapas de fuentes externas (shapefile, dem, etc.), esto se realiza después de especificar las unidades de medida y el sistema de coordenadas. La Tabla 2.1 muestra los formatos de archivos que soporta el programa. HEC-ResSim también importa los mapas como un mapa de alineamiento de corrientes mediante el uso de un comando de importación que está disponible en la barra de herramientas del menú *watershed*.

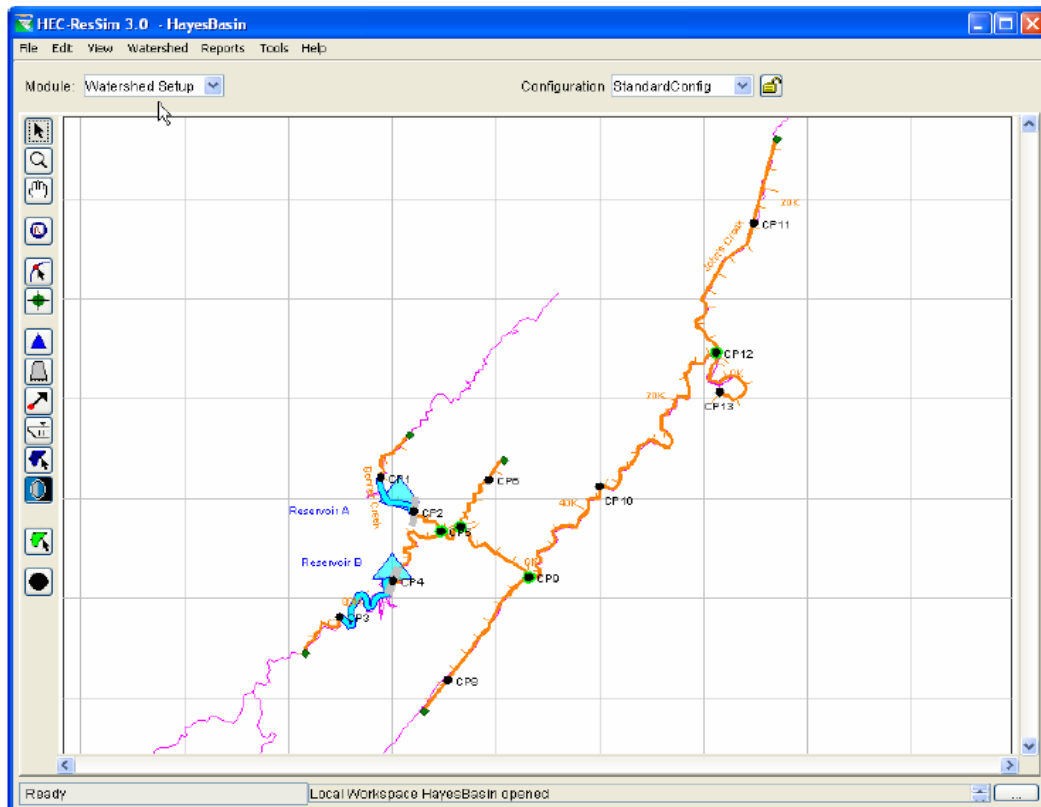
**Tabla 2.1.** Formatos de archivos soportados por ResSim

Description	Common File Name Extension
ArcView® Shapefile	.shp
AutoCAD® DXF	.dxf
Raster image	.img, .gif, .jpg
USGS* Digital Line Graph	.dlg
USGS* Digital Elevation Model	.dem
ASCII NetTIN	.net
ArcInfo® DEM	.asc
*US Geological Survey	

**Fuente:** (USACE-User's Manual)

Entre las actividades que se desarrollan en este módulo (Ver Figura 2.7) se encuentran: crear una alineación de corrientes, definir proyectos (por ejemplo: reservorios, diques), definir puntos de cálculo, identificar áreas de impacto, crear configuraciones para el *watershed*, y definir iconos para las series de tiempo que representan lugares específicos identificados por series de tiempo (USACE-User's Manual).

**Figura 2.7.** Módulo Watershed setup



**Fuente:** (USACE, Quick Start Guide)

#### ▪ **Módulo Reservoir Network**

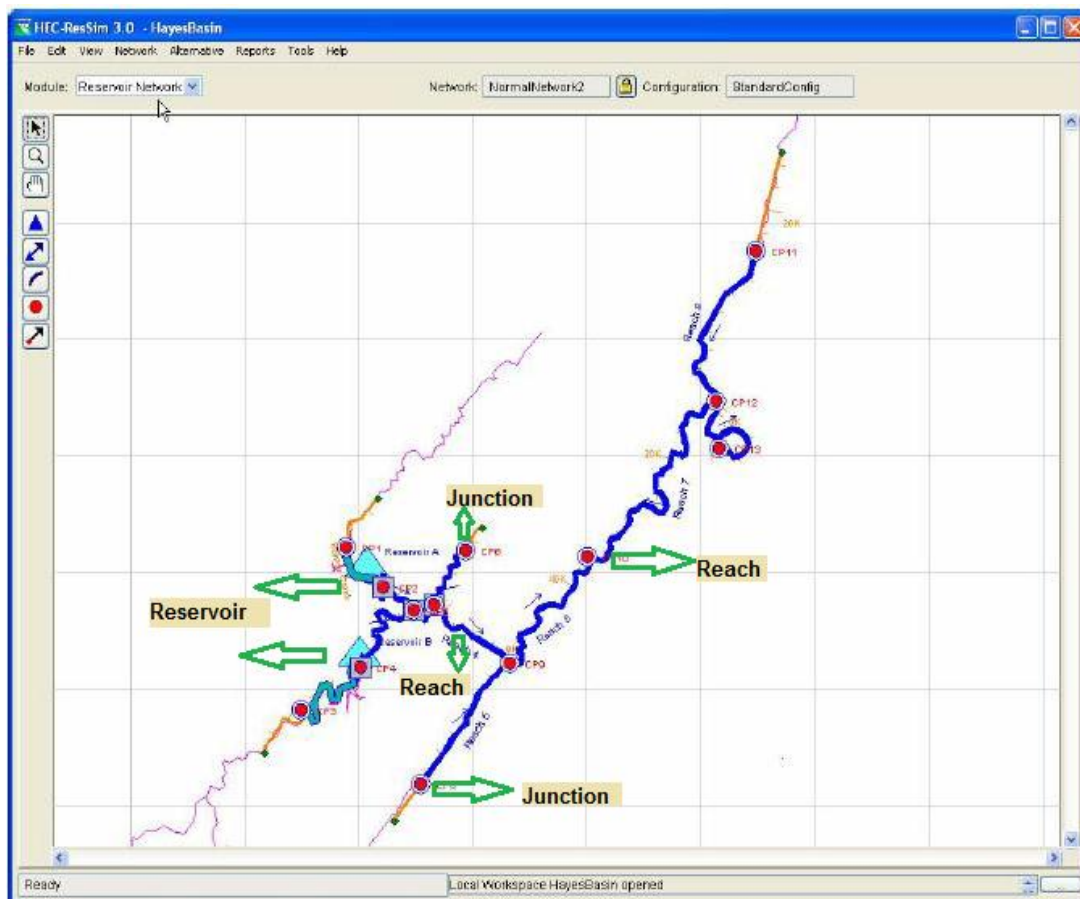
Este módulo es la región donde todos los *reservoir* y los *divisions* son añadidos y unidos entre sí a través de los elementos *routing reach*, usando las configuraciones (templete) que fueron creadas en el módulo *watershed setup*, para cada alternativa o escenario de forma independiente.

A continuación se presenta una breve descripción de los elementos más importantes del módulo *Reservoir Network*, estos elementos pueden ser visualizados en la Figura 2.8.

**Junctions.-** representan confluencia de corrientes o puntos donde flujos externos entran al sistema. HEC-ResSim no calcula el escurrimiento, por tanto, todos los flujos locales se deben introducir en los cruces como flujos externos. El flujo de salida de un *junction* es simplemente la suma de los flujos en el *junction*.

**Routing reach.-** representan las corrientes naturales en el sistema. El retardo y la atenuación de flujo en un tramo se calcula por medio de una variedad de métodos de tránsito hidrológico, tales como: Muskingum, Puls Modificado, Muskingum-Cunge. Las pérdidas por filtraciones pueden ser también especificadas para cada tramo.

**Figura 2.8.** Módulo Reservoir Network



**Fuente:** (USACE, Quick Start Guide)

**Diversion.-** Representa una "retirada" de agua de la corriente natural. La cantidad de la retirada se puede especificar como una cantidad constante o como una función de algunos parámetros tales como el tiempo o flujo. Una parte o la totalidad del agua derivada, puede regresar al sistema o puede ser completamente eliminada de él (USACE, User's Manual).

**Reservoir.-** es el elemento más complejo del *reservoir network*. Se compone de una piscina y una presa. HEC-ResSim asume que el comportamiento hidráulico de la piscina queda completamente definido por la curva cota-area-volumen.

**Dam.-** permite al usuario describir las diferentes salidas del embalse en tanto detalle como se considere necesario. Existen dos tipos de salidas: las básicas y las salidas avanzadas.

Las salidas básicas son: *las controladas y las no controladas*. Un ejemplo de *salida no controlada* es el desborde por un vertedero (no hay estructura de control que regule el flujo), una *salida controlada* puede estar representada por una compuerta o válvula, capaz de regular el flujo.

Las salidas avanzadas son: *plantas de energía y bombas*. Los dos tipos son salidas controladas con características adicionales que permiten representar sus propósitos especiales.

### **Definición de alternativas y set de operaciones**

Luego de construir el esquema de red (*network*), hay que asignar datos físicos y operacionales a los sistemas de embalse, para ello hay que utilizar datos característicos del reservorio. Los datos físicos hacen referencia a la relación entre la elevación-área-volumen del embalse, a las pérdidas por infiltración y por evaporación y a las salidas que este disponga (las salidas fueron definidas en el apartado anterior - sección *Dam*). Los datos operacionales se relacionan con las demandas, es decir, con las extracciones en cada una de las zonas de almacenamiento (si el nivel de almacenamiento se encuentra en la zona de inundación, en la de conservación o en la muerta); las reglas de operación más detalladamente fueron descritas en el apartado 2.4.3.

Por tanto, antes de pasar al módulo *simulation*, este módulo queda definido al determinar las alternativas que especifican el *reservoir network*, los set de operación, las condiciones iniciales, y la asignación de nombres de ruta DSS.

### **HEC-DSS Excel Data Exchange Add-In & HEC-DSS**

**HEC-DSS = HEC-Data Storage System**

- **HEC-DSS Excel Data Exchange Add-In:** es una aplicación que sirve para recuperar y almacenar series de tiempo de intervalos regulares, en un archivo

de datos HEC-DSS desde un libro de Excel (*Hec-DSS-User's Guide and Utility Manuals*, 1995).

- **HEC-DSS:** es una herramienta que ResSim utiliza principalmente para almacenar y acceder a datos de series de tiempo, cuenta con una amplia capacidad para manipulación de datos, edición, trazado de gráficos, etc. Por medio de esta base de datos se realiza el ingreso de las entradas al sistema y otros datos de series de tiempo, que hayan sido definidas durante la creación de alternativas o escenarios.

Para un manejo eficiente del DSS es necesario crear un catálogo de archivos DSS, el cual contendrá información relacionada con los datos DSS y sus rutas de acceso. Las rutas de acceso DDS consiste de seis partes con el siguiente formato:

***/A/B/C/D/E/F/***

Parte A: identificador del trabajo a realizar, por ejemplo: nombre de estudio.

Parte B: identificador de la locación de los datos, por ejemplo: ID de la organización.

Parte C: identificador de datos tales como: caudales, precipitación, evaporación, etc.

Parte D: contiene la fecha de inicio de la serie de tiempo.

Parte E: contiene el intervalo de tiempo de los datos.

Parte F: es un descriptor, proporciona información adicional de los datos.

En resumen, entre las actividades que se desarrollan en este módulo se encuentran: crear *networks* (redes de trabajo), añadir *routing reach*, edición de elementos, creación y edición de alternativas y sets operacionales, asignación de las rutas DSS para el acceso a las series de tiempo.

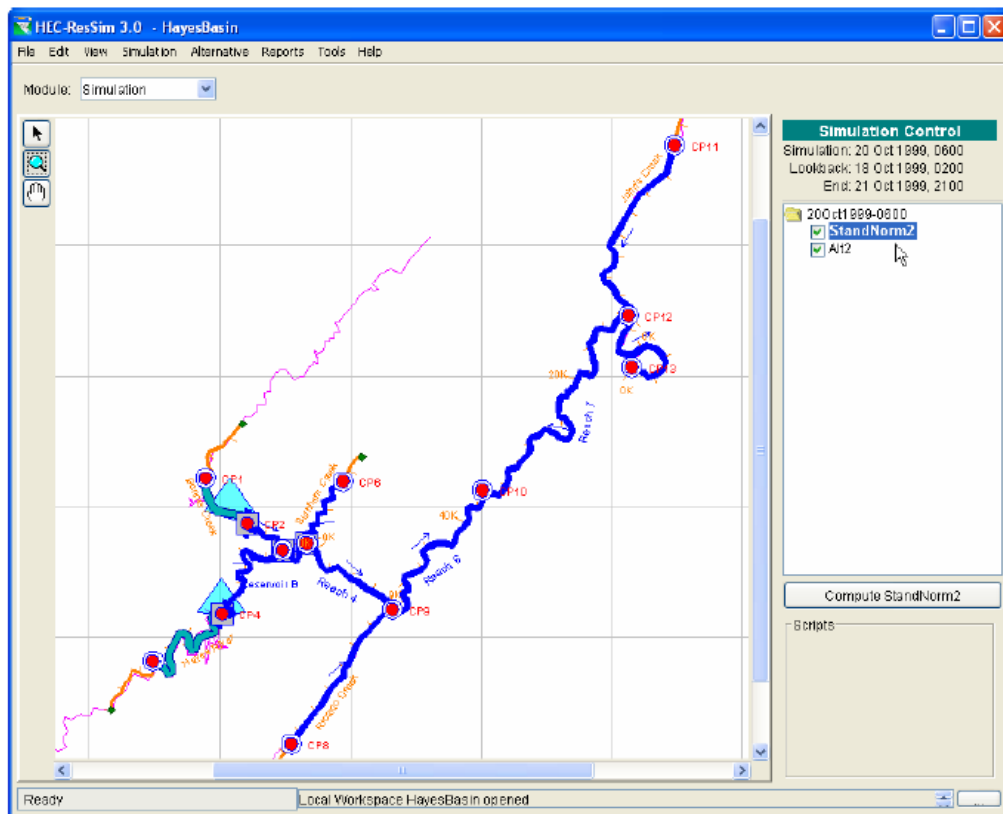
Se concluye entonces, que mediante la combinación de embalses, cauces o corrientes, confluencias y derivaciones, el usuario de HEC-ResSim es capaz de construir un sistema que puede representar desde el reservorio más simple hasta un complejo sistema de reservorios.

- ***Módulo Simulation***

El módulo *simulation* (Ver Figura 2.9) se ha diseñado para facilitar la fase de análisis del modelamiento del reservorio, en este se crean y corren simulaciones (USACE,

Quick Start Guide). Por tanto, una vez que el modelo de embalse está completo y las alternativas han sido definidas, el módulo *simulation* se usa para configurar la simulación. Los cálculos son ejecutados y los resultados visualizados. En este módulo además de definir tiempos de simulación y *lookback*, se seleccionan las alternativas e intervalos de cálculo.

**Figura 2.9.** Módulo Simulation



**Fuente:** (USACE, Quick Start Guide)

## CAPÍTULO 3

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

*Objetivos:* almacenar agua durante la época lluviosa permitiendo así garantizar el suministro de agua para riego durante el verano y control de inundaciones.

El proyecto Plan de Aprovechamiento y Control de Agua de la Provincia de los Ríos (PACALORI) ocupa una extensión de 1900 Km<sup>2</sup> en la parte central de la Cuenca del río Guayas, al sur de la ciudad de Quevedo, entre los ríos Daule y Catarama. Está definida por tres zonas, que son: la zona Oeste, a lo largo del río Macul, la zona Central a ser servida a través del río Quevedo y la zona Este a ser servida desde el río Calabí.

Topográficamente en algunas extensiones del área del proyecto como lo es la parte nor-oeste se pueden encontrar colinas, mientras que en el sur-este existen partes muy planas.

El proyecto PACALORI en la actualidad se encuentra en estudios de factibilidad, y para esta etapa comprende: un sistema de derivación del río Quevedo y un sistema de derivación del río Calabí. Las derivaciones alimentarán a los dos sectores que constituyen el proyecto: Sector Oeste, Traslase Quevedo-Macul1-Maculillo-Macul2 y Traslase Quevedo-Mocache-Garzas-Mangas Saibas-La Angostura; Sector Este, Traslase Calabí-Lechugal2-Chojampe2-Chojampe-Estero Lechugal y Traslase Calabí-Lechugal2-Aguacatal-Pueblo Viejo.

Un total de 13 presas de tierra conforman todos los traslases, siendo las siguientes: Macul 1, Maculillo, Macul 2, Mocache, Garzas, Mangas-Saibas, La Angostura, Lechugal 2, Chojampe, Chojampe2, Estero Lechugal, Aguacatal y Pueblo Viejo.

Se contará con 13 embalses que almacenarán un volumen total de agua de 848,4 hm<sup>3</sup> con un área inundada de 16840 ha, los embalses abastecerán un área potencial de riego de 105739 ha a ser servida por un periodo de 4 meses (julio-octubre). También se considerará 33.8 km de conducciones (túneles) en los traslases. (PROMAS, 2013a). El Anexo 1 muestra un esquema general de toda el área del proyecto con cada uno de sus componentes.



### 3.2. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto PACALORI como se mencionó anteriormente, es un proyecto con fines de riego y control de aguas, donde el embalse Macul 1 es uno de los 13 embalses que comprenden todos los sub sistemas de almacenamiento, y para el cual se considera:

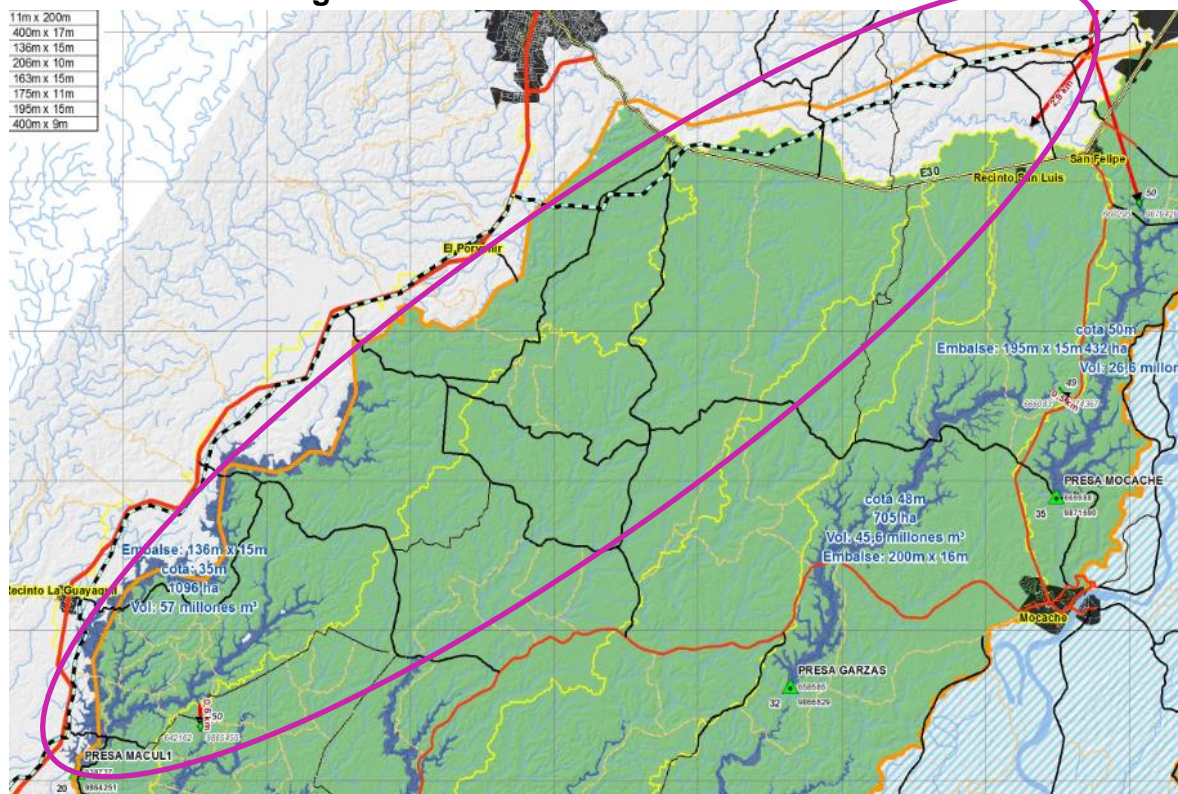
- El objeto de este estudio es el analizar el comportamiento del embalse a través de un balance hídrico para distintos escenarios de tiempo.
- Los estudios del PACALORI se encuentra en la etapa de factibilidad.
- El programa HEC-ResSim es capaz de modelar desde el reservorio más simple hasta un complejo sistema de embalses.
- Esta investigación pretende analizar la viabilidad de la aplicación del programa HEC-ResSim para el funcionamiento del Embalse Macul 1 considerando la etapa de estudio en la que se encuentra el proyecto.

Se concluye entonces, que el desarrollo de este trabajo se centra en el estudio del embalse Macul 1, más no considera un análisis de sistemas de embalses.

#### 3.2.1. Ubicación

El área de estudio se encuentra en el sector oeste del proyecto dentro del Trasvase Quevedo-Macul1-Macullillo-Macul2.

**Figura 3.1. Ubicación de la Zona de Estudio**





Considerando todos los flujos de entrada y salida que tiene el embalse, el estudio se enfocará en la cuenca del río Macul aguas arriba de la presa Macul 1 (Ver Figura 3.1) entre las siguientes coordenadas: de la 638737 a la 665603 y de la 9864251 a la 9883343.

### 3.2.2. Cobertura vegetal

De acuerdo al Informe de Agrología realizado por PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA, la generación del mapa de cobertura se basó en la fotointerpretación de imágenes Landsat de los años 1999-2000 y actualizado en el 2011 por el Ministerio de Agricultura, Acuacultura y Pesca. Este mapa ha sido validado mediante recorridos del área para verificar la presencia de los cultivos. La proporción de los cultivos predominantes en la parte oeste del proyecto se encuentran tabulados en la Tabla 3.1 y a través del Anexo 2 se observa que en la zona de la cuenca de Macul existen cultivos tales como: maíz, pasto cultivado, cultivos de ciclo corto, cacao, cultivos de arroz y banano.

**Tabla 3.1.** Proporción de cobertura vegetal

<b>Cobertura</b>	<b>%</b>
<b>Maíz</b>	30,63
<b>Cacao</b>	18,82
<b>Pasto natural</b>	16,75
<b>Pasto cultivado</b>	10,38
<b>Cultivos de ciclo corto</b>	7,62
<b>Mango</b>	6,29
<b>Banano</b>	4,89
<b>Arboricultura tropical</b>	2,40
<b>Bosque natural</b>	1,37
<b>Arroz</b>	0,57
<b>Cuerpo de agua natural</b>	0,28
<b>Vegetación arbustiva</b>	0,00
<b>TOTAL</b>	100

**Fuente:** PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2013

### 3.2.3. Clima

La zona de estudio presenta una temperatura media de 24.4°C, una precipitación y evapotranspiración media mensual de 188.83 mm y 115,8 mm respectivamente, considerándose que esta zona presenta un clima mediterráneo, con lluvias estacionales y temperaturas cálidas de verano.

### 3.2.4. Aprovechamiento hídrico

El agua almacenada en Macul 1 cumplirá las siguientes funciones: abastecer sistemas de riego para un área de 7178.8 Ha., satisfacer el caudal ecológico necesario para el río aguas abajo de la presa y trasvasar agua hacia el embalse Maculillo.

### 3.2.5. Delimitación de la cuenca del río Macul

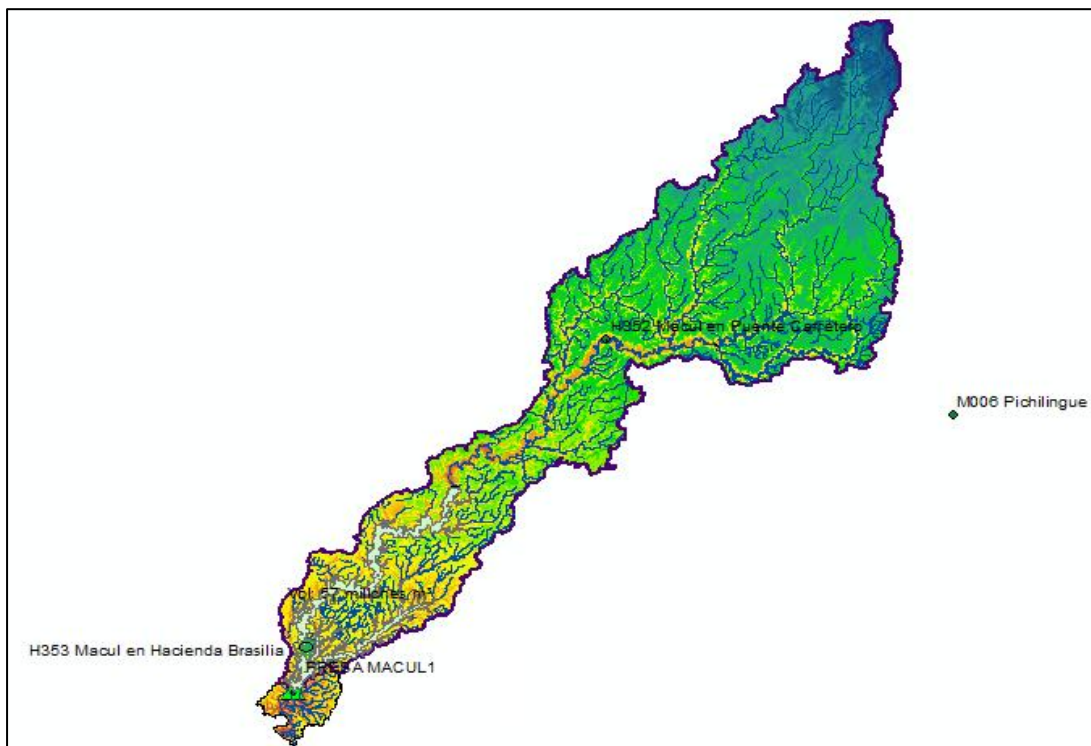
Utilizando el programa computacional ArcGIS y un modelo digital de elevación, se delimitó de manera automatizada la cuenca del río Macul empleando el módulo Spatial Analysis Tools-Hydrology, el proceso es el siguiente:

- *Fill*: rellenan las imperfecciones existentes en la superficie del modelo digital, de tal forma que las celdas en depresión alcancen el nivel del terreno de alrededor, con el objetivo de poder determinar de forma adecuada la dirección del flujo.
- *Flowdir*: determina la dirección de flujo a partir de las alturas de las celdas vecinas en el modelo digital de elevación relleno ('Fill'). El agua fluye hacia el punto más bajo y esta dirección es el nuevo valor de la celda.
- *Flowacc*: a partir de las direcciones del flujo calcula un nuevo raster de acumulación de flujo en cada celda. Se determina el número de celdas aguas arriba que vierten sobre cada una de las celdas inmediatamente aguas abajo de ella. Este raster tiene valores altos en los ríos y bajos en las pendientes y quebradas.
- *Stream definition*: en esta fase se clasifican las celdas con acumulación de flujo superior a un umbral especificado como celdas pertenecientes a la red de flujo. Se debe elegir un valor adecuado, ya que si el valor de acumulación es muy bajo, muchos píxeles serán seleccionados como pertenecientes a la red hídrica, caso contrario, solo aquellos drenajes de orden alto serían definidos como red hídrica.
- *Stream link*: divide el cauce en segmentos que conectan dos uniones sucesivas, una unión y un punto de desague o una unión y una división del área de drenaje.
  - *Stream order*: crea un raster de orden de las corrientes
  - *Stream feature*: crea un shape de drenajes
  - *Pour point*: extrae una celda de 'flowacc' de cual queremos definir la cuenca de aporte.

- *Watershed*: a partir de la dirección de flujo y el pour point calcula el área de agua que fluye hacia tal celda (ubicación-pour point) y con esto define en formato raster la cuenca hidrográfica en la ubicación geográfica.
- *Raster to polygon*: herramienta que permite visualizar el resultado final en formato vector (polígono) para así calcular su superficie, perímetro o para mejorar la visualización estética en el mapa.

A continuación, se puede observar en la Figura 3.2, la cuenca del área de estudio en donde se ubica el embalse y Presa Macul 1; y se identifica la ubicación de las estaciones hidrológicas Puente Carretero (H352) y Hacienda Brasilia (H353) y la estación meteorológica Pichilingue (M006).

**Figura 3.2.** Delimitación del área de estudio de la cuenca del río Macul



### 3.3. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

#### 3.3.1. Recolección y preparación de datos

Los datos de precipitación, evaporación, caudales y riego fueron proporcionados por los diferentes departamentos del PROMAS, luego de ello se realizó un análisis y selección de información necesaria para el embalse Macul 1, obteniéndose lo siguiente:

### 3.3.1.1. Precipitaciones

De acuerdo a la información recopilada se cuentan con los datos de precipitación mensual de la cuenca Macul en Puente Carretero entre los años 1964-2010, esta información es de gran importancia para la selección de los tres escenarios a analizar (condiciones normales, invierno intenso y sequía).

### 3.3.1.2. Evaporaciones

Se considera una estimación de evaporación espacial a través de mapas de evaporación de referencia a nivel mensual generados para cada sitio de embalse (PROMAS, 2013b), teniendo como resultado:

**Tabla 3.2.** Evaporaciones

<b>Ene</b>	95.00
<b>Feb</b>	85.00
<b>Mar</b>	105.00
<b>Abr</b>	100.00
<b>May</b>	87.50
<b>Jun</b>	77.50
<b>Jul</b>	87.50
<b>Ago</b>	90.00
<b>Sep</b>	105.00
<b>Oct</b>	115.00
<b>Nov</b>	110.00
<b>Dic</b>	105.00
<b>Anual</b>	1162.5

*Fuente:* PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2013

### 3.3.1.3. Caudales

De acuerdo al estudio hidrológico los caudales del río Macul para el análisis del balance hídrico se considerarán de la estación Hacienda Brasilia (H353), ya que esta estación hidrológica se encuentra dentro de la zona de estudio e incluye a la mayoría de afluentes que aportan a la cuenca.

### 3.3.1.4. Riego

Considerando las áreas de riego del trasvase Oeste del proyecto, los tipos de cultivos presentes en la zona (Ver sección 3.2.2), la precipitación, la evapotranspiración, entre otros factores, y sobre la base del entendimiento de caudal ficticio continuo para los meses identificados como periodo necesario de riego, los estudios de agricultura irrigada han establecido un caudal ficticio continuo equivalente igual a 0.431 lt/s/ha.

Este caudal será considerando como un estimado, pues no es exactamente la dotación para el área de riego del embalse Macul 1, este valor deberá ser afinado con estudios más a detalle para la zona de riego perteneciente a Macul 1, estudios tanto de: edafología, tipos de cultivo, etapas de crecimiento de cultivo, etc.

El área de riego que abastecerá el embalse es de: 7178.8 Ha.

### **3.3.2. Selección de escenarios**

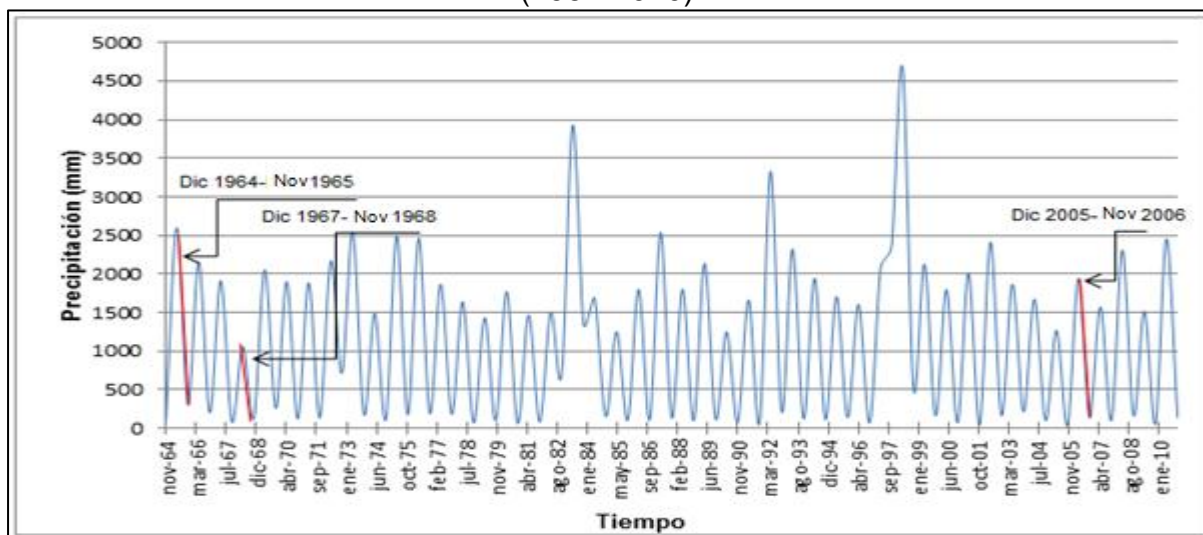
Los datos ingresados al programa, es decir, las entradas al sistema, son los caudales medidos en las estaciones. Para obtener una buena simulación de los distintos escenarios y para que los resultados sean más representativos es mejor contar con datos a nivel horario, pero dada la ausencia de estos, puesto que se cuenta solamente con datos diarios las simulaciones se las harán entonces a este nivel.

Para la selección de los caudales (evento) se realizó un análisis de volúmenes acumulados de precipitaciones, es decir, se acumulan las lluvias generadas en el periodo seco (Junio-Noviembre) y las que se producen durante el invierno (Diciembre-Mayo), de tal manera que se tenga dos volúmenes por año; el hecho de dividir en 2 periodos cada año, permite ver gráficamente la variabilidad entre épocas lluviosas y secas. Luego se plotean estos resultados y se evalúa cuales escenarios corresponden a años secos, lluviosos o normales de acuerdo al volumen acumulado de lluvia. De acuerdo al Informe Hidrológico del proyecto, la estación meteorológica más completa es la estación Pichilingue, esta estación no es muy lejana a la cuenca del río Macul (Ver Figura 3.2 ), y dado que la topografía es relativamente plana, no va existir mayor diferencia en la distribución espacial; por lo que para fines de seleccionar un evento se pueden utilizar estos datos. Sin embargo, dada la disponibilidad de datos de precipitaciones de la cuenca del Macul en Puente Carretero, la selección del escenario se lo realizó con estos registros, los cuales se muestran en el Anexo 3, para el periodo comprendido entre los años de 1964 al 2010.

Como resultados del análisis (ver Anexo 4) y de acuerdo a la disponibilidad de datos de caudales diarios en la estación Macul en Hacienda Brasilia; se define sin considerar los años de eventos extremos, es decir, los años del Fenómeno del Niño (1982-1983-1997-1998) y los años con grandes picos de lluvia (1992), al año 1964-1965 como un año lluvioso (2903.70 mm). Al 1967-1968 un año seco, pues es el

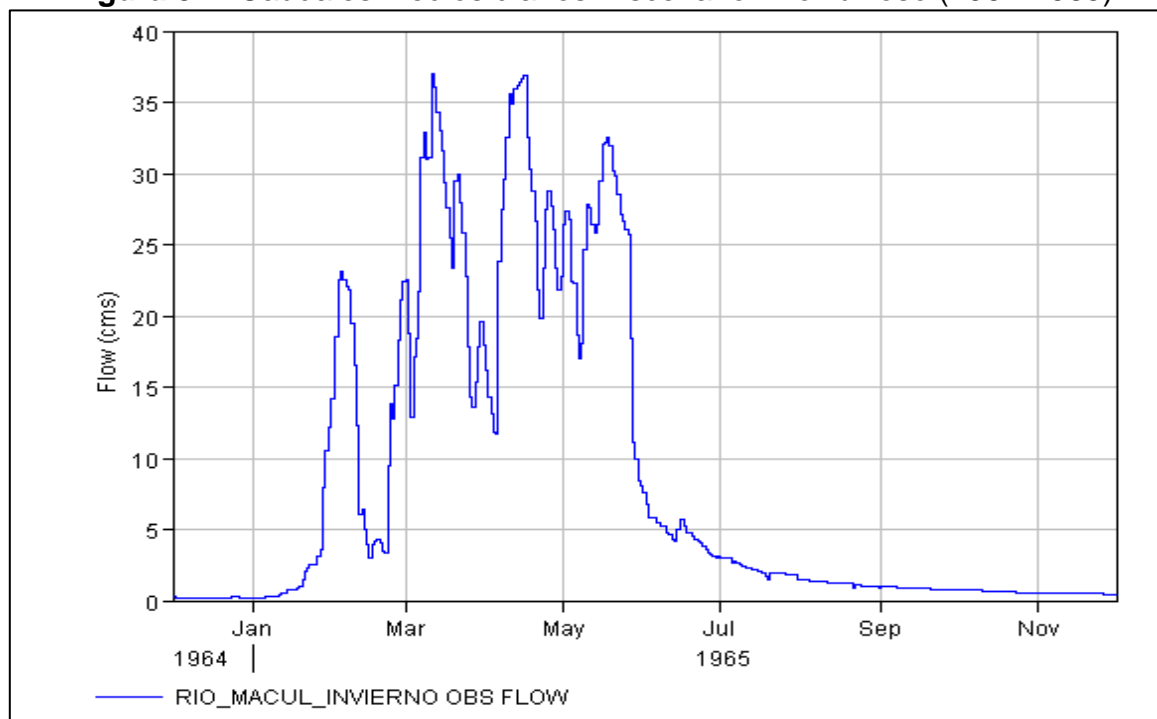
que presenta un invierno con una lluvia relativamente baja (1192.20 mm). Y al 2005-2006 un año de condiciones normales, con una precipitación muy próxima a la media de los valores anteriores (2080.70 mm). Las series de tiempo para estos escenarios se muestran respectivamente en el Anexo 5, Anexo 6 y Anexo 7. El análisis gráfico para la determinación del escenario se muestra en la Figura 3.3.

**Figura 3.3.** Precipitaciones acumuladas. Cuenca del Macul en Puente Carretero (1964-2010)

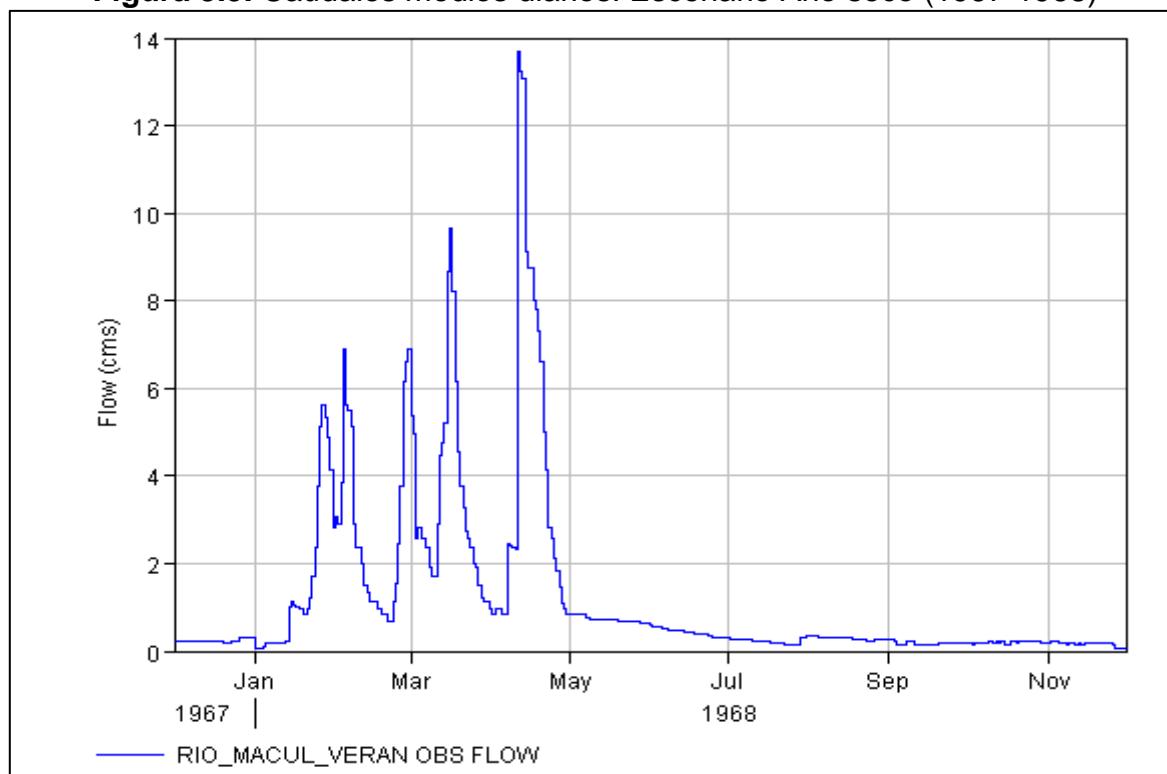


La Figura 3.4, Figura 3.5 y Figura 3.6 ilustran las gráficas de los caudales en Hacienda Brasilia, para los distintos escenarios seleccionados.

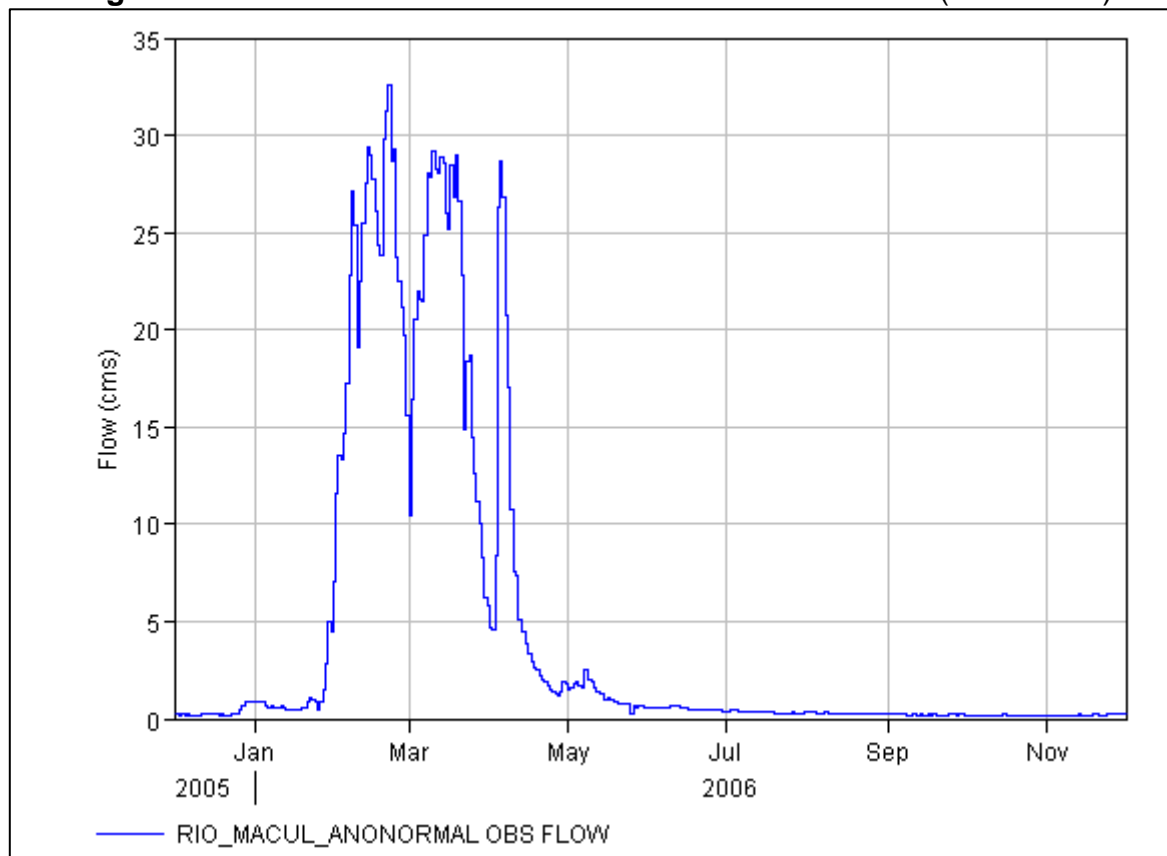
**Figura 3.4.** Caudales medios diarios. Escenario Año lluvioso (1964-1965)



**Figura 3.5.** Caudales medios diarios. Escenario Año seco (1967-1968)



**Figura 3.6.** Caudales medios diarios. Escenario Año normal (2005-2006)



### 3.4. CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL EMBALSE MACUL 1

#### 3.4.1. Balance hídrico para el embalse Macul 1

Para realizar el balance hídrico del Embalse Macul 1 se consideran 3 distintos escenarios de tiempo, estos escenarios son: un año en condiciones normales, un año lluvioso y una sequía extrema.

El análisis del Balance hídrico se lo considera en dos épocas del año como son: invierno, correspondiente a los meses de diciembre – mayo, y verano en los meses de junio-noviembre, por lo que su balance es diferente uno de otro, ya que, durante la época de invierno existe mayor aporte de agua que durante verano.

Como se menciona en la sección 2.2, el balance hídrico se representa a través de la siguiente ecuación:

$$E - S = \pm \Delta A \quad \text{Ec. 3}$$

En este estudio al considerar cada uno de los aportes a la cuenca, así como las demandas del sistema, se ha determinado las siguientes entradas y salidas:

#### ENTRADAS

- *Caudal de trasvase Quevedo-Macul:* aportará flujo al cauce solo en época de invierno (diciembre-mayo).
- *Caudal de aporte de la cuenca:* definido a través de los caudales medios diarios (estación H353).

La siguiente tabla muestra los volúmenes aportantes de cada cuenca para el llenado de los embalses de acuerdo al estudio hidrológico del proyecto.

**Tabla 3.3.** Aportes de las propias cuencas para el llenado de embalses

Nombre	Volumen presa(m3)	vol_aporte	vol_req	vol_remanent
<b>Presa Macul 2</b>	51400000	32975581	1642941	0
<b>Presa Macul 1</b>	57000000	73781478	0	16781478
<b>Presa Maculillo</b>	136300000	42443273	93856727	0

*Fuente:* PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2013

#### SALIDAS

- *Riego:* se considera que solo en los meses de julio-octubre se producirán riego.
- *Caudal ecológico:* para la preservación de la biodiversidad del río, se debe garantizar la salida continua de un caudal ecológico, es decir, este caudal saldrá continuamente durante todos los días del año.



- *Caudal Macul1-Maculillo*: es el caudal que se va a trasvasar desde el embalse Macul 1 hacia el Maculillo, está definido por una curva de descarga y saldrá únicamente en el periodo de invierno.
- *Agua de exceso*: es el agua que sobrepasa la capacidad máxima del embalse, retornará al cauce aguas abajo de la presa a través del vertedero de excesos.

Para un mejor entendimiento del balance hídrico en Macul 1, se considera por separado las dos épocas del año: invierno, correspondiente a los meses de diciembre – mayo, y verano en los meses de junio-noviembre, por lo que el balance es diferente uno del otro, ya que durante la época de invierno existe mayor aporte de agua que durante verano.

### Balance hídrico en época de invierno

La ecuación del balance hídrico para el embalse, en los meses de diciembre a mayo, puede expresarse como:

$$Q_{SI} + P_L + E_L + Q_{CM} + Q_E = \Delta S_L$$

Donde

$Q_{SI}$ : es el caudal de entrada de agua superficial dentro del embalse

$$Q_{SI} = Q_{RM} + Q_{Q-M}$$

$Q_{RM}$ : caudal aportante de río Macul aguas arriba del embalse

$Q_{Q-M}$ : caudal aportante de la conducción Quevedo- Macul

$P_L$ : precipitación sobre la superficie del embalse

$E_L$ : evaporación desde la superficie del embalse

$Q_{CM}$ : caudal saliente a la conducción Maculillo

$Q_E$ : caudal ecológico para el río Macul aguas abajo del embalse

$\Delta S_L$ : variación del agua almacenada, durante el periodo considerado

### Balance hídrico en época de verano

La ecuación del balance hídrico, en los meses de junio a noviembre, puede expresarse como:

$$Q_{SI} + P_L + E_L + Q_R + Q_E = \Delta S_L$$

Donde

$Q_{SI}$ : es el caudal de entrada de agua superficial dentro del embalse

$$Q_{SI} = Q_{RM}$$

$Q_{RM}$ : caudal aportante del río Macul aguas arriba del embalse

$P_L$ : precipitación sobre la superficie del embalse

$E_L$ : evaporación desde la superficie del embalse

$E_R$ : caudal saliente al sistema de riego

$Q_E$ : caudal ecológico para el río Macul aguas abajo del embalse

$\Delta S_L$ : variación del agua almacenada, durante período del balance considerado

### 3.4.2. Ubicación del embalse

De acuerdo al Informe Estudio de Alternativas realizado por el PROMAS, tanto la ubicación del embalse así como el cálculo del volumen y área de inundación, se basaron en modelos digitales de elevación. Si el modelo digital posee suficiente detalle es posible visualmente ubicar sitios aptos para la construcción de una presa desde el punto de vista topográfico (DEM utilizado Esc: 1:10000).

Los criterios que se toman en cuenta son:

- Sitios en los cuales se reducen las dimensiones del embalse
- Sitios en los cuales se puede embalsar mayor volumen
- Tamaño de la cuenca de aporte

Considerando los criterios antes mencionados las coordenadas para el sitio de presa que permiten un máximo almacenamiento, son: X 638737, Y 9864251, Z 20.

### 3.4.3. Volumen de embalse y área de inundación vs cota de embalse

Al igual que para la ubicación del embalse, PROMAS utilizó un modelo digital de elevación con depresiones rellenas con el objetivo de calcular el volumen que se pueda extraer del embalse en el punto de la presa. La Tabla 3.4 indica los resultados obtenidos de ArcGis, tanto de la superficie del espejo de agua del embalse '2D Area' y la superficie del terreno debajo del embalse '3D Area'

**Tabla 3.4.** Cotas-Área de inundación-Volumen. Embalse Macul 1

COTA	2D Area (m <sup>2</sup> )	3D Area	Volumen (m <sup>3</sup> )
21	182948.943	184476.247	60338.085
22	271127.240	280060.996	281333.963
23	368977.486	386199.029	586919.634
24	582297.058	607874.770	1050655.328
25	1093902.507	1128154.349	1932108.575
26	1670039.047	1712080.568	3301562.193
27	2301265.121	2350287.349	5263717.139
28	3033814.913	3089896.324	7935470.404
29	3646317.178	3710210.327	11306361.392
30	6206490.198	6279224.133	15224879.638
31	7169107.466	7257453.219	21939227.797
32	7931888.520	8039207.628	29495644.299
33	8788967.836	8917677.017	37820381.359
34	9573396.841	9726186.902	46988181.001
35	10708478.598	10887646.393	56953326.778
36	11631898.658	11842816.752	68136662.640
37	12436182.573	12682425.274	80157121.108
38	13233575.205	13517831.595	92980481.646

**Fuente:** PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2013

La cota máxima de embalse depende de sitio de presa (PROMAS, 2013a):

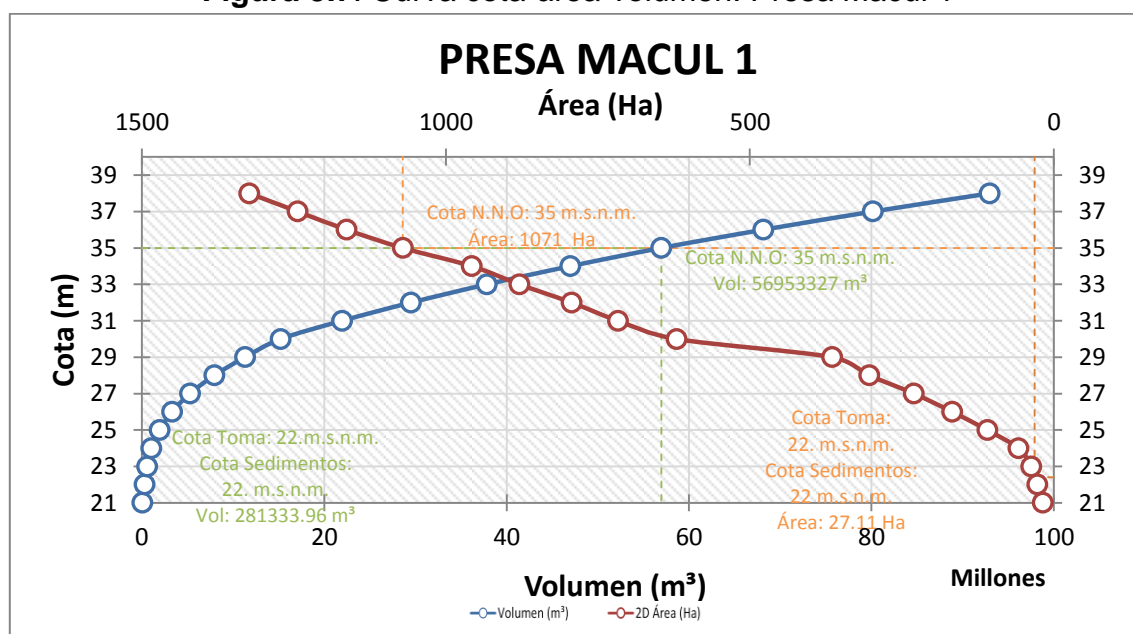
- Diferencia de altura en la cola, con la altura de la divisoria de aguas (mínimo 3m en vertical)
- Altura de toma de agua, en caso de que se requiera rellenar a gravedad

**Tabla 3.5.** Características generales. Embalse Macul 1

Embalse	Macul 1
Volumen (millones)	57000000
Área de riego (ha)	7178.8
Dimensiones (ancho/altura)	136 x 15m
Área de inundación (ha)	1071.00
Cota máxima (m.s.n.m.)	35.00

Considerando el nivel máximo de almacenamiento la cota 35 m.s.n.m., el embalse Macul 1 tiene una capacidad de  $57\text{Hm}^3$  con un área de inundación incluyendo el área propia del cauce del río de 1071 ha. La Tabla 3.5 muestra las características del embalse, la Figura 3.7 ilustra la curva cota-área-volumen para el embalse, y la Tabla 3.6 incluye las características principales de la presa Macul 1.

**Figura 3.7.** Curva cota-área-volumen. Presa Macul 1



**Fuente:** PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2013

**Tabla 3.6.** Características generales. Presa Macul 1

<b>Presa</b>	<b>Macul 1</b>
<b>Volumen (<math>10^6 \text{ m}^3</math>)</b>	57.00
<b>Coordenadas (x,y) UTM WGS84</b>	638737, 9864251
<b>Cota de corona (m)</b>	39.50
<b>Longitud de corona (m)</b>	148.65
<b>Altura de la presa (m)</b>	19.50
<b>Cota N.N.O (m.s.n.m.)</b>	35.00
<b>Cota descarga (m.s.n.m.)</b>	35.00
<b>Cota toma (m.s.n.m.)</b>	22.00
<b>Cota sedimentos (m.s.n.m.)</b>	22.00
<b>Cota terreno (m.s.n.m.)</b>	20.00

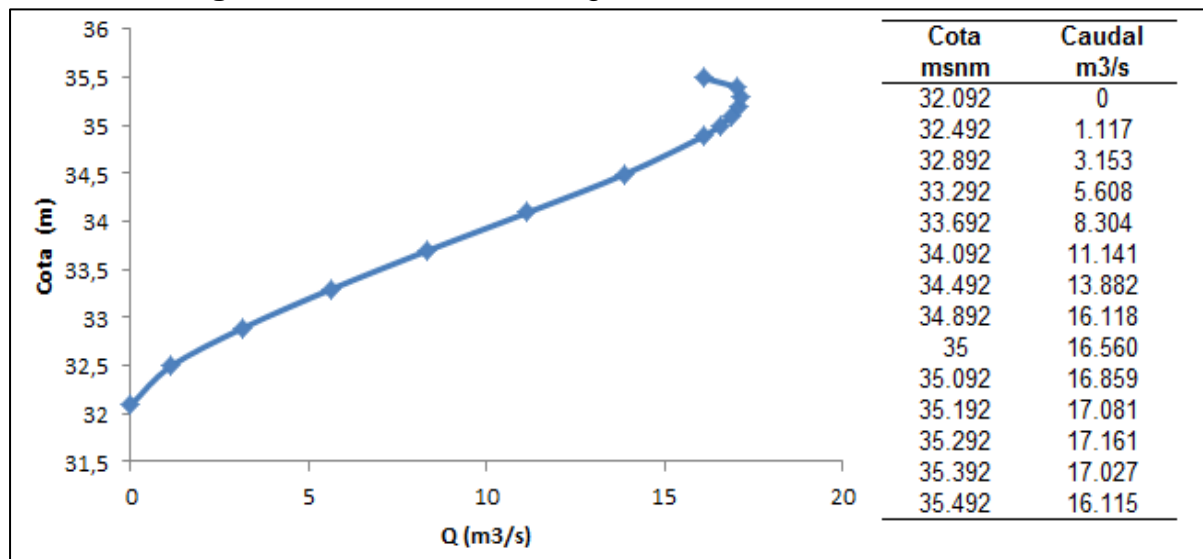
*Fuente:* PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2013

#### **3.4.4. Presa Macul 1 - Traspase Quevedo-Macul y Macul-Maculillo**

El proceso de alimentación al embalse Macul 1 inicia con el trasvase del río Quevedo al río Macul a través de un sistema de derivación en el río Quevedo (Traspase Quevedo-Macul y Traspase Quevedo-Mocache), ubicado al norte de la ciudad. El trasvase hacia el Macul se lo realizará con un túnel de aproximadamente 5 km terminando en las coordenadas 665603 y 9883343, en la cota 49 m.s.n.m.

Existe un trasvase desde el embalse Macul 1 hacia el embalse Maculillo por medio de una conducción por desborde. La conducción será un túnel de una longitud aproximada de 0.6 km; terminando en las coordenadas 642162 y 9865455, en la cota 35 m.s.n.m y producirá el llenado del Maculillo (639601 y 9854631, a 20 m.s.n.m), puesto que la cuenca del río Maculillo no es autosuficiente para producir el llenado del embalse. El paso de flujo desde el embalse Macul al Maculillo queda definido mediante una curva de descarga que se muestra en la Figura 3.8. El embalse en Maculillo, tiene una capacidad de almacenamiento de  $136.3 \text{ Hm}^3$ . En la Tabla 3.7 se pueden observar los caudales para cada una de las conducciones.

La presa Macul1 estará constituida por la presa propiamente dicha, vertedero y obras de toma con compuertas, será una presa de tierra homogénea. El vertedor será de hormigón armado, excepto en el cimacio que estará constituido de hormigón en masa. La obra de toma consistirá de torres de hormigón armado, las compuertas serán todas rectangulares, de operación mecánica. (PROMAS, 2013a).

**Figura 3.8.** Curva de descarga. Conducción Macul-Maculillo


*Fuente:* PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2013

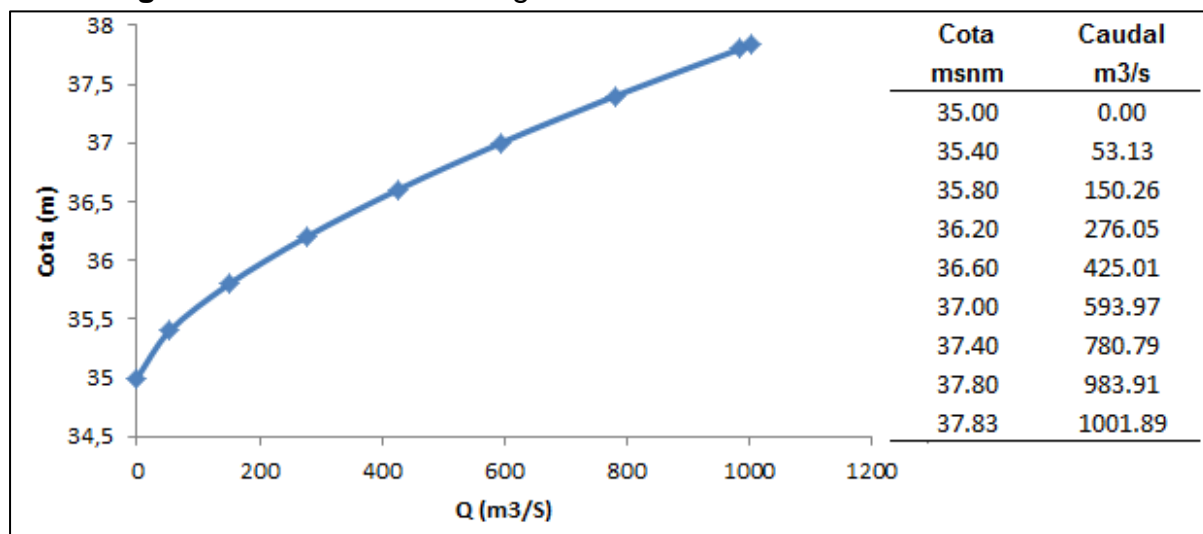
**Tabla 3.7.** Características generales. Conducciones

Conducción	Q <sub>canal</sub> (m³/s)	Q <sub>requerido</sub> (m³/s)
Derivación en Quevedo	30.59	23.63
Quevedo-Macul	10.64	7.31
Quevedo-Mocache	19.96	16.32
Macul 1-Maculillo		16.56
Q ecológico Macul 1		1.36
Q ecológico Macul 2		2.74

*Fuente:* PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2013

En resumen, el embalse Macul 1 tendrá como principal funcionalidad almacenar agua para riego, la presa es de tierra con una altura de 19.5m; el vertedor es libre sin compuertas cuyo umbral coincide con la cota de N.N.O. (35 m.s.n.m.), el embalse tiene una capacidad total de 57000000 m³, el área de la cuenca es de 306.92 km². La curva de descarga para el vertedor de excesos se muestra en la Figura 3.9, se considera un ancho de vertedor de 100m y una altura de laminación de 2.83m.

**Figura 3.9.** Curva de descarga. Vertedor de excesos embalse Macul 1



*Fuente:* PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2013

### **Caracterización general**

- Nombre: Embalse Macul 1
- Ubicación: Oeste de la provincia de Los Ríos
- Área inundada (Ha): 1071
- Profundidad (m): 15
- Volumen (Mm³): 57
- Anchura máxima (m): 136
- Principales afluentes: Río Macul y Trasvase Quevedo-Macul
- Ríos efluentes: Río Macul

## **3.5.CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DEL FUNCIONAMIENTO DEL EMBALSE MACUL 1 MEDIANTE HEC-ResSim**

### **3.5.1. Procedimiento general de ingreso de datos**

De acuerdo al balance definido en la sección Balance hídrico para el embalse Macul 1 se realiza el ingreso de las características y datos del embalse para los diferentes módulos de HEC-ResSim, luego se definen cada una de las alternativas así como los sets de operación y finalmente se realiza las simulaciones para los diferentes escenarios.

#### **▪ Módulo Watershed**

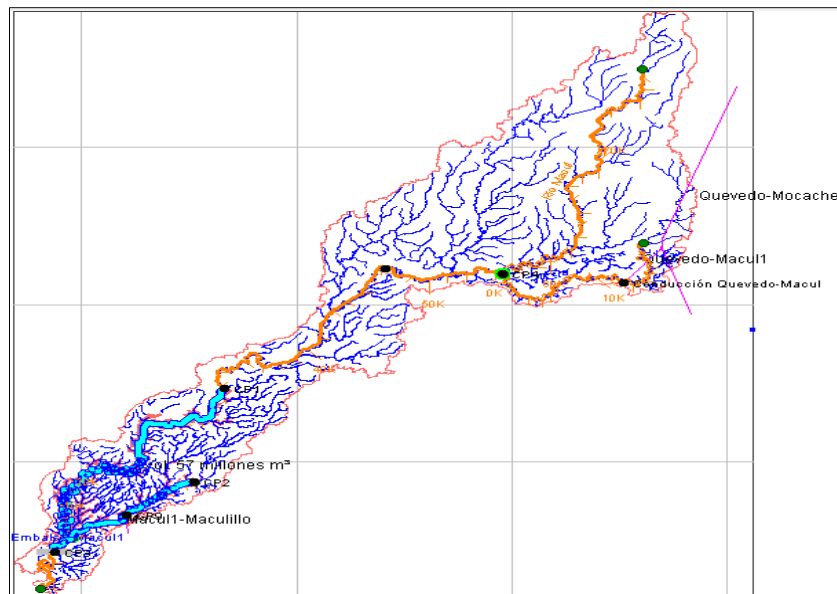
Posterior al proceso de la delimitación de la cuenca del río Macul hasta el punto de presa Macul 1 se procede, para la simulación en el programa a realizar una

simplificación de toda la red hidrográfica, es decir, se simplifica todos los cauces a tres principales:

- El río Macul desde la parte más alta de la cuenca al punto de presa
- El afluente Estero Huayjito
- El afluente Estero Potrereros

Ya definido los sistemas de unidades y de coordenadas, esta nueva configuración es importada hacia HEC-ResSim mediante la herramienta *Import-Stream Alignment*. Para tener una mejor visualización de la configuración, son también cargados los archivos *shape* correspondientes a: borde de cuenca, ríos, embalse, puntos de presa, conducciones y estaciones (Ver Figura 3.10).

**Figura 3.10.** Sistema de corrientes-Cuenca del Macul. Módulo watershed HEC-ResSim



#### ▪ **Módulo Reservoir Network**

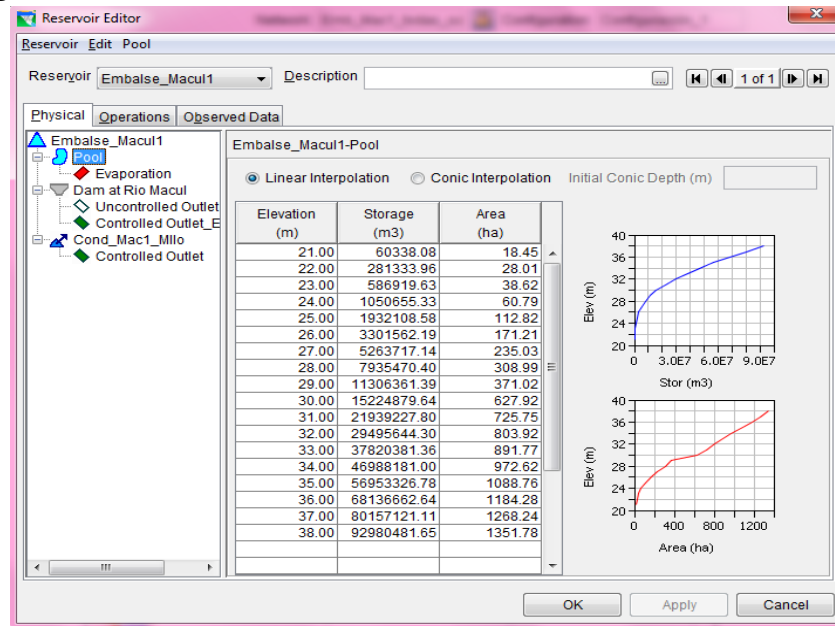
Los datos del embalse para este módulo incluyen características físicas básicas de: la presa, estructuras de salida, así como las demandas; las pérdidas por evaporación son también una entrada al modelo.

#### **Datos físicos**

Como se ilustra en la Figura 3.11 seleccionando la pestaña *Physical Tab* en el *Reservoir Editor* es posible ingresar la curva de capacidad de la presa (relación elevación-volumen-área, ver sección 3.4.3), así también las curvas de descarga (ver sección 3.4.4) para las estructuras de salida: vertedero, conducción (controlled outlet, uncontrolled outlet).



**Figura 3.11.** Reservoir Editor en HEC-ResSim –Información física

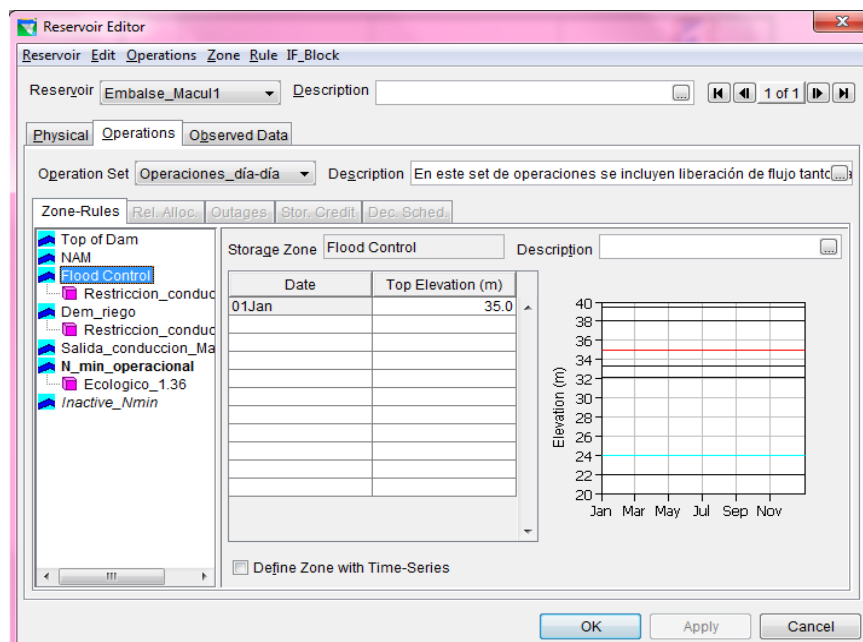


Seleccionando la pestaña *Operations* en el *Reservoir Editor* se ingresan los niveles máximos, normales y mínimos del reservorio, así como los diferentes sets de operaciones dentro del embalse (Ver Figura 3.12). La definición de los niveles y de las operaciones se describe más claramente en un apartado posterior.

### **Pérdidas en el embalse**

Dada la complejidad de un análisis de pérdidas por infiltración, solo se considerarán las producidas por evaporación. La información de pérdidas por evaporación se encuentra descrita más a detalle en la sección 3.3.1.2.

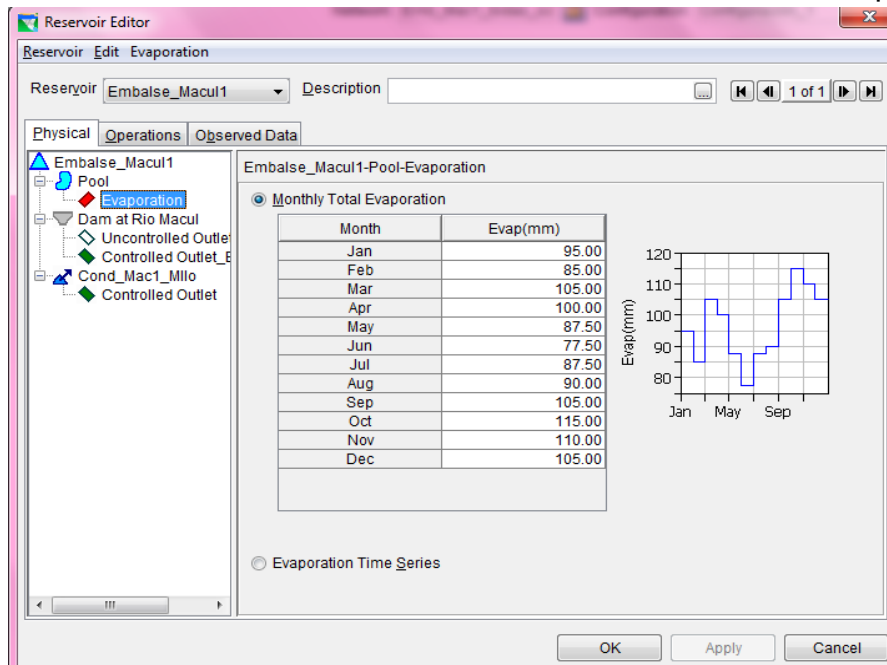
**Figura 3.12.** Reservoir Editor en HEC-ResSim –Información de niveles de operación





Seleccionando *Evaporation* de la pestaña *Physical Tab* en *Reservoir Editor*, es posible ingresar información de evaporación media mensual. La Figura 3.13 muestra datos de evaporación utilizados para el embalse Macul 1.

**Figura 3.13.** Reservoir Editor en HEC-ResSim –Información de evaporación



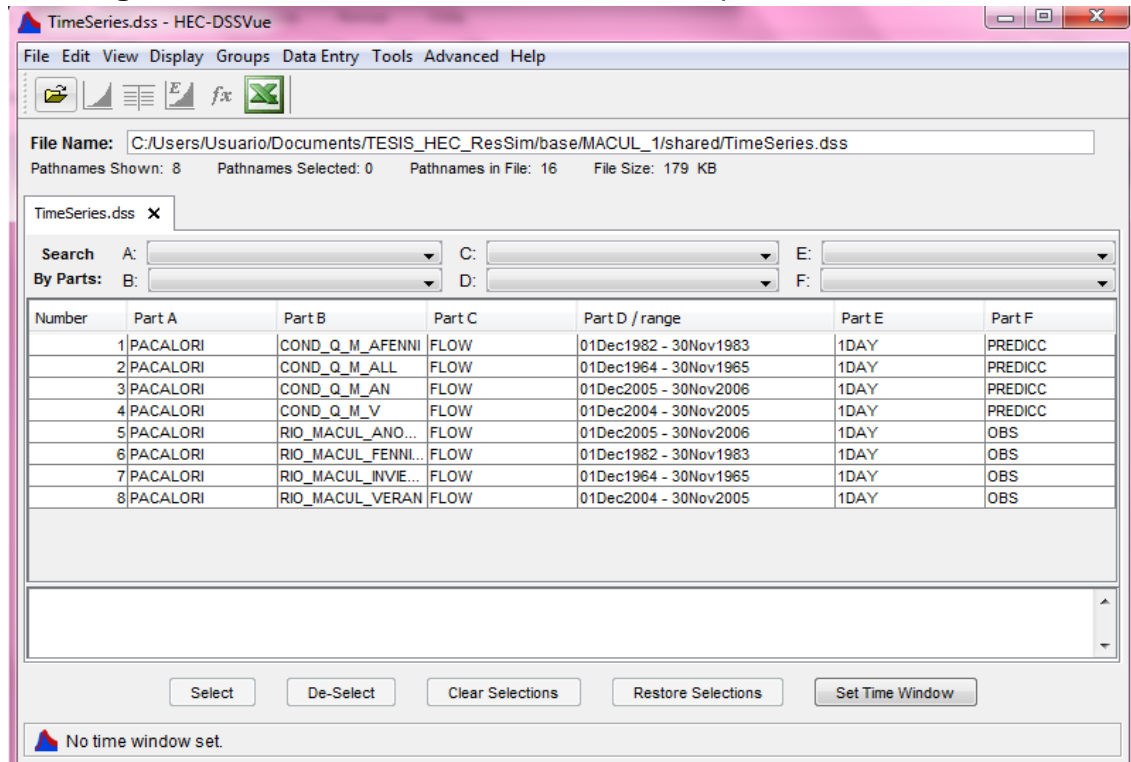
### **Demanda de agua para riego y descargas medioambientales**

- Como se indicó en la sección 3.3.1.4 el caudal estimado para riego es de  $Q_{riego} = 0.431 \text{ lt/s/ha}$ .
- Las descargas medioambientales se refieren al caudal ecológico, en la sección 3.3.1.3 se estimó un  $Q_{ecol} = 1.36 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### **Alternativas**

En esta sección se preparan las alternativas a ser simuladas. Una alternativa queda definida por una combinación de un Reservoir Network, set de operaciones y las series de tiempo. Para el ingreso de los escenarios (1964/1965, 1967/1968, 2005/2006), como se explicó anteriormente, se utilizó la extensión HEC-DSS. La Figura 3.14 muestra las series de tiempo convertidas en archivos DDS

**Figura 3.14.** Transferencia de series de tiempo a archivos HEC-DSS



#### ▪ **Módulo Simulation**

En este módulo se realiza las corridas para los distintos escenarios seleccionados. En el capítulo RESULTADOS Y DISCUSIÓN se muestran los resultados obtenidos para las diferentes simulaciones.

### 3.5.2. Funcionamiento de embalse y metodología para análisis de escenarios

Para los escenarios a analizar se propone lo siguiente:

Capacidad útil del embalse.- A partir del nivel de sedimentos se define una altura de agua que permitirá definir un nivel en el embalse (nivel mínimo operacional) que garantice el buen funcionamiento de las estructuras de salida (conducciones riego y desagüe de fondo). Esta altura está regida al correcto funcionamiento del sistema de riego y es estimada 2m por encima del nivel de sedimentos. Por tanto, el volumen útil del embalse está comprendido entre las cotas 24 y 35 m.s.n.m.

Funcionamiento del embalse-balance hídrico.- En el programa se simulará la funcionalidad del embalse para una primera vez de llenado, tomando en cuenta sus entradas y salidas, excepto riego. Para esta demanda se almacenará un volumen estimado que se utilizará durante la época de riego, como se explica a continuación.

Entradas y salidas constantes.- Del balance hídrico propuesto, los elementos tales como son: el suministro de riego, caudal ecológico y el caudal trasvasado se consideran como constantes durante todo el periodo en el que deberán actuar. Esta asunción se la realiza para simplificar operaciones y puesto que no existen estudios a detalle. Esto quiere decir que para el caso del caudal ecológico ( $1.36 \text{ m}^3/\text{s}$ ), este saldrá continuamente del embalse durante todo el año. El caudal de captación ( $7.31 \text{ m}^3/\text{s}$ ), al igual que el ecológico, ingresará constantemente durante 5 meses del periodo de invierno. Para el caudal de riego se considera lo siguiente (información estimada por el departamento de riego de PROMAS):

Caudal de riego ( $\text{lt/s/ha}$ )	0.431
Eficiencia de tubería	80%
Eficiencia de método de riego	70%
Área de riego Macul 1 (ha)	7178.8
Caudal de riego para área total ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	3.09
Caudal de riego mayorado	5.53
Tiempo de riego (meses Julio-Octubre)	4
Tiempo de riego (días)	123
Tiempo estimado de riego por día (horas)	16
Demanda por riego ( $\text{m}^3$ )	39144314.5

Por tanto para satisfacer la demanda de riego, el embalse para el inicio del mes de Julio, deberá tener almacenado un volumen igual a  $39144314.5 \text{ m}^3$ .

Niveles de operación del embalse.- De acuerdo a lo antes mencionado y considerando todas las entradas y salidas del embalse, así como sus niveles característicos se establecen los siguientes niveles de operación para el embalse:

**Tabla 3.8.** Niveles de operación para el embalse

Nivel	Cota	Volumen C-A-V
Terreno	20.00	0
Sedimentos	22.00	281333.9629
Cota de toma	22.00	281333.9629
Nmin operacional	24.00	1050655.328
Volumen Muerto	24.00	1050655.328
Salida conducción	32.09	
Demanda para riego	33.26	40194970.84
NNO	35.00	57000000.00
NAM	37.83	90800510.4

*Salida conducción.*- es la cota de la parte más baja de la conducción, es decir, la solera del túnel. Se define este nivel, puesto que cuando Macul 1 alcance dicho nivel empezará a descargar agua hacia el embalse Maculillo.

Definidas las condiciones anteriores y tomando en cuenta las restricciones en cuanto a salidas y entradas de caudales, se simularon los 3 escenarios escogidos, de tal manera que se cumplan las situaciones antes mencionadas. Si no se cumplían las condiciones se optimizaba el funcionamiento del embalse para que se acerque lo más posible a los objetivos inicialmente planteados.

Para realizar una comprobación del balance realizado por ResSim se elaboró también un balance hídrico a través de una hoja electrónica. Este balance que esta manejado en base a volúmenes y no niveles, considera todas las entradas al embalse y para las salidas no considera las descargas por el vertedor y por la conducción, de tal manera que el balance da como resultado un  $\Delta$  almacenamiento que en relación al programa debería ser la suma del volumen de excedencia, el volumen de descarga hacia Maculillo y el volumen muerto. Al comparar los dos balances sus resultados deberían ser muy parecidos, más no iguales, puesto que el programa considera parámetros que no se los evalúa dentro del balance numérico tales como son: tránsito de flujo por el cauce, evaporaciones, cumplimiento total de restricciones, etc.

Los resultados de las simulaciones para los escenarios se muestran en el capítulo siguiente.

## CAPÍTULO 4

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se definió en el capítulo anterior los niveles de operación del embalse que se mostrarán en las siguientes gráficas de resultados son:

- Sedimentos= 22.00 m
- Nmin operacional = 24.00 m
- Salida conducción = 32.09 m
- Demanda para riego = 33.26
- NNO (Nivel Normal de Operación) = 35.00 m
- NAM (Nivel de Aguas Máximas) = 37.83 m
- Cota de corona = 39.5 m

#### **Escenario Año Normal**

Como se mencionó anteriormente al fin del periodo de simulación el embalse debe tener un nivel de almacenamiento (Nivel de Conservación Riego) capaz de satisfacer un volumen de agua para una demanda constante de riego:  $5.53\text{m}^3/\text{s}$  por 16 horas diarias durante 4 meses. En base a esta restricción se simuló 2 alternativas de tal manera que al final con alguna de ellas se logre llegar al objetivo planteado.

Como se puede observar en la Figura 4.1, existen 2 curvas de elevación del embalse, de abajo hacia arriba las llamaremos: curva 1 y curva 2.

Dado un flujo de entrada al embalse este se empieza a llenar y la primera demanda que deja salir es el caudal ecológico, de acuerdo a la gráfica para el mes inicial de llenado, el incremento en el nivel del embalse es relativamente bajo, esto se produce precisamente porque hay la salida del ecológico. Pero para el siguiente mes, dado que existe el aporte por parte del trasvase de Quevedo el embalse empieza a llenarse más rápidamente. Para las simulaciones se considera el aporte hacia Maculillo apenas el embalse alcance el nivel de 32.09 m, esto hecho es claramente visible en la curva de salida de caudal, donde para la fecha que el nivel del embalse llega a los 32.09 m hay un incremento en la salida de caudal. Mientras el nivel del embalse se mantenga entre los 32 y 35 m estará continuamente descargando hacia Maculillo pero esto solamente deberá ocurrir durante los 5 meses que se trasvasará caudal desde Quevedo. El llenado del embalse para este

evento se produce aproximadamente el 20 de febrero, es decir, el llenado se produce en 82 días. Si supera los 35 m habrá descarga por el vertedor de excesos. Cuando se ha descargado el remanente por el vertedor y el embalse recupere el NNO y si esto ocurre antes de que culmine el invierno entonces como se dijo anteriormente se seguirá conduciendo caudal hacia Maculillo.

Analizando las gráficas de los caudales de salida del embalse (ver Figura 4.2 a) curva1, b) curva2 ) se puede ver que para este escenario hay desbordamiento por el vertedero de excesos para las 2 simulaciones; esto se produce justamente cuando los caudales de entrada incrementan significativamente. De la misma manera se puede observar la salida constante de caudal ecológico y las curvas de descarga hacia Maculillo. Estas curvas de salida están estrechamente ligadas al nivel de almacenamiento del embalse.

Para el caso de la curva 1 que no tiene ningún tipo de restricción en la salida de caudal hacia Maculillo, descarga flujo hasta más allá del periodo lluvioso, esta descarga conjuntamente con la salida del ecológico evidentemente no garantizará el almacenamiento para riego.

Para el caso de la curva 2 se restringe de acuerdo a las condiciones iniciales, la salida de caudal hacia Maculillo una vez concluido el invierno, pero tampoco este hecho y la salida continua de ecológico hacen que se garantice el almacenamiento de agua para riego.

Por tanto se concluye que para las dos situaciones mostradas no se cumple con el requerimiento de almacenamiento para riego. Lo que se propone dado los excesos de agua que se producen durante el llenado del embalse y el déficit de agua para el verano, regular el caudal de trasvase a Maculillo, es decir, limitar la salida hacia Maculillo cuando el nivel del embalse ha alcanzado el NNO, de esta manera garantizar un caudal extra que puede ser utilizado tanto para riego o para la salida del ecológico o por otra parte para la época de verano no garantizar una salida de caudal ecológico todo el tiempo o por lo menos una salida igual a la entrada de caudal para dicho periodo. El déficit para riego implica llevar a cabo racionamientos del suministro de agua.

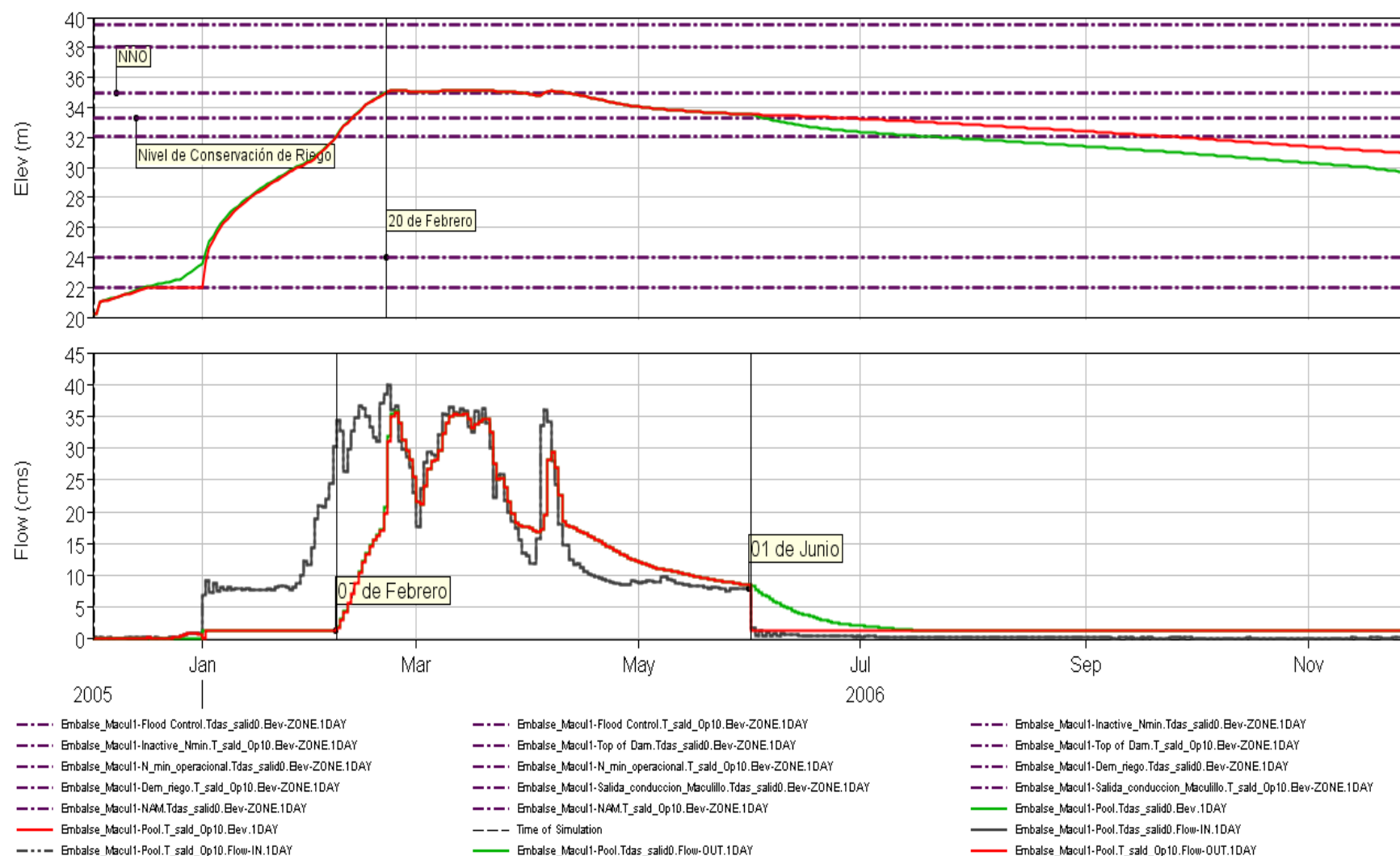
En términos de volúmenes lo que se tendría almacenado para riego tomando en cuenta estas operaciones es  $21228080 \text{ m}^3$  que en comparación con el volumen de conservación establecido para riego ( $39144314.5 \text{ m}^3$ ) es bastante diferente. Esto

implica una dotación de riego mucho menor a la establecida, aproximadamente 3 m<sup>3</sup>/s.

Los volúmenes de descarga hacia Maculillo para cada uno de los casos anteriormente descritos se pueden observar en la Figura 4.2. Estos volúmenes de aporte son muy representativos, ya que Maculillo tiene una capacidad de almacenamiento de 136300000m<sup>3</sup> y los volúmenes producto de la descarga superan los 120000000 m<sup>3</sup>, entonces representan aproximadamente casi la totalidad de su llenado pero hay que tomar en cuenta que Maculillo recibe un aporte de su propia cuenca de aproximadamente el 31 % (ver Tabla 3.3), por tanto el ingreso por la conducción es demasiado elevado para satisfacer las necesidades del embalse Maculillo.

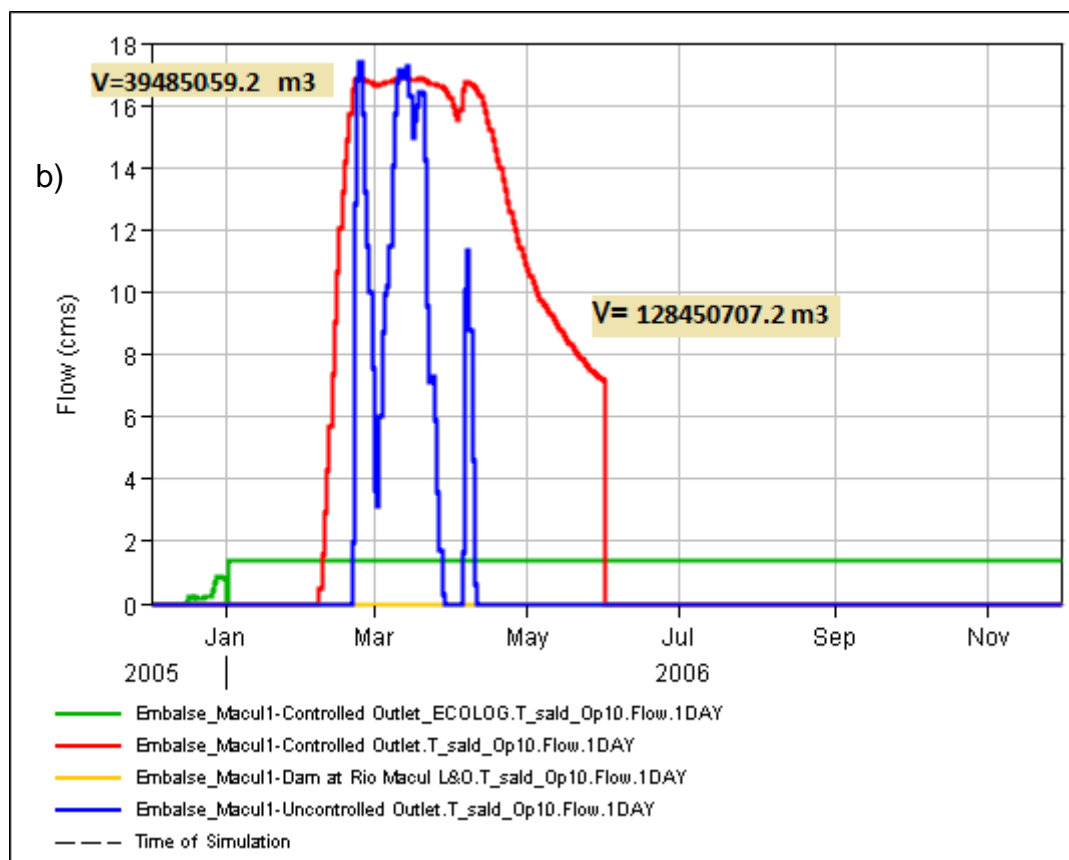
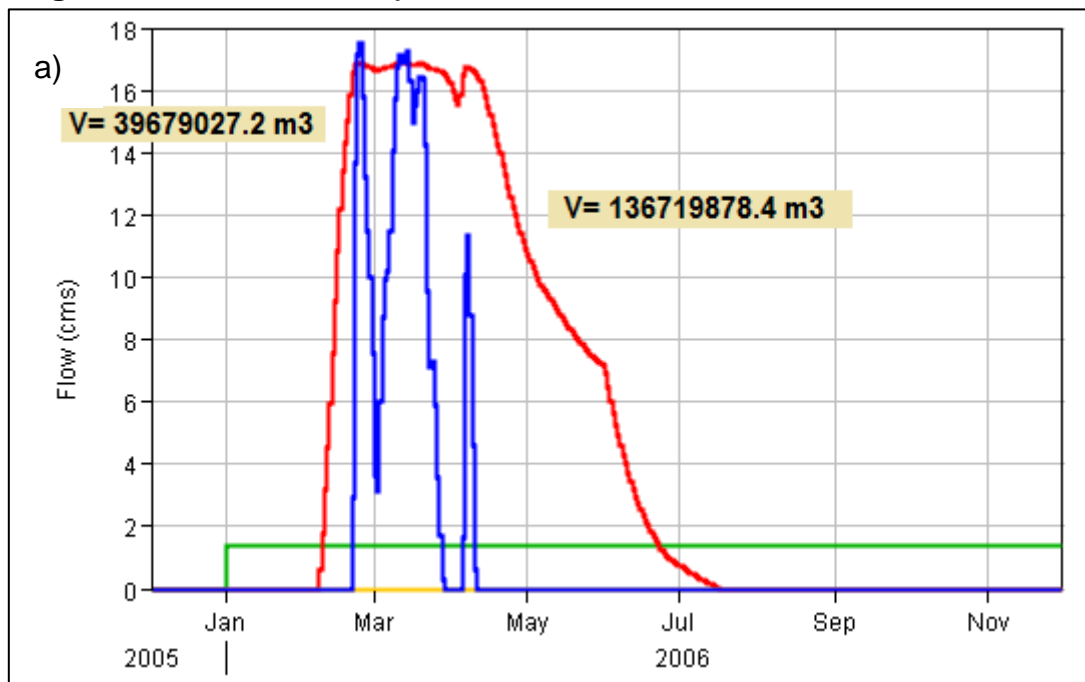
A manera de comparación se realizó un balance para este escenario, en una hoja electrónica como se muestra en el Anexo 8. El volumen acumulado debe ser igual o muy semejante a la suma del volumen encontrado por el programa, es decir, al que sale por el vertedero y por el de la conducción.

**Figura 4.1.** Gráfica de elevación y flujo de entrada y salida para el embalse Macul 1. Escenario: Año Normal



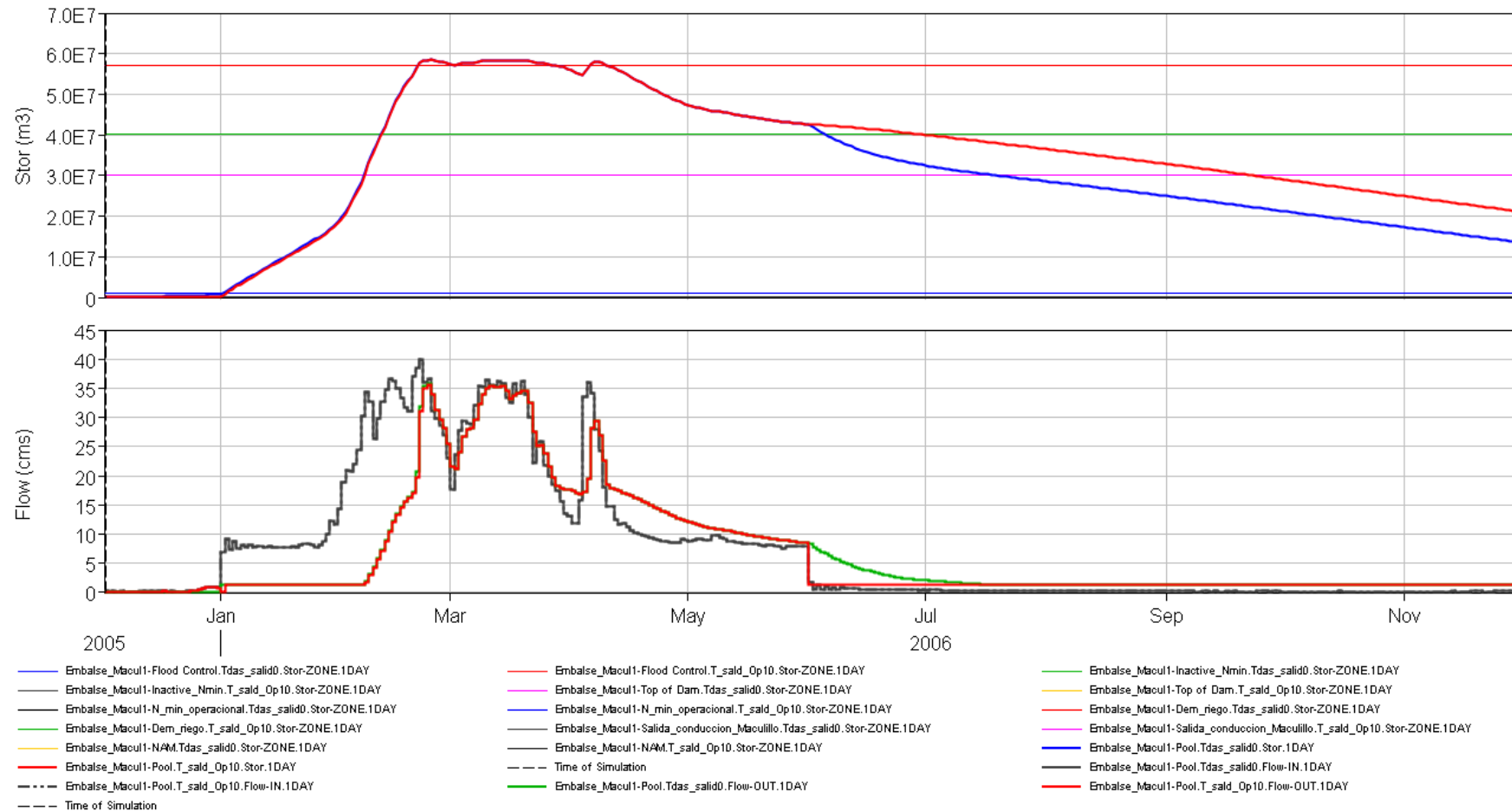


**Figura 4.2.** Gráficas de flujo de salida del embalse. Escenario: Año Normal



La siguiente figura muestra las curvas de almacenamiento para las diferentes alternativas así como los caudales de entrada y salida del embalse.

**Figura 4.3.** Gráfica de almacenamiento y flujo de entrada y salida para el embalse Macul 1. Escenario: Año Normal



### **Escenario Año Lluvioso**

Para analizar el comportamiento del embalse Macul 1 durante un año lluvioso, al igual que en el escenario anterior se han realizado dos simulaciones con distintas condiciones. Para así de esta manera simular el mejor funcionamiento del embalse, es decir, que se satisfagan las demandas del sistema. Las simulaciones están representadas por las curvas 1 y 2 de la Figura 4.4.

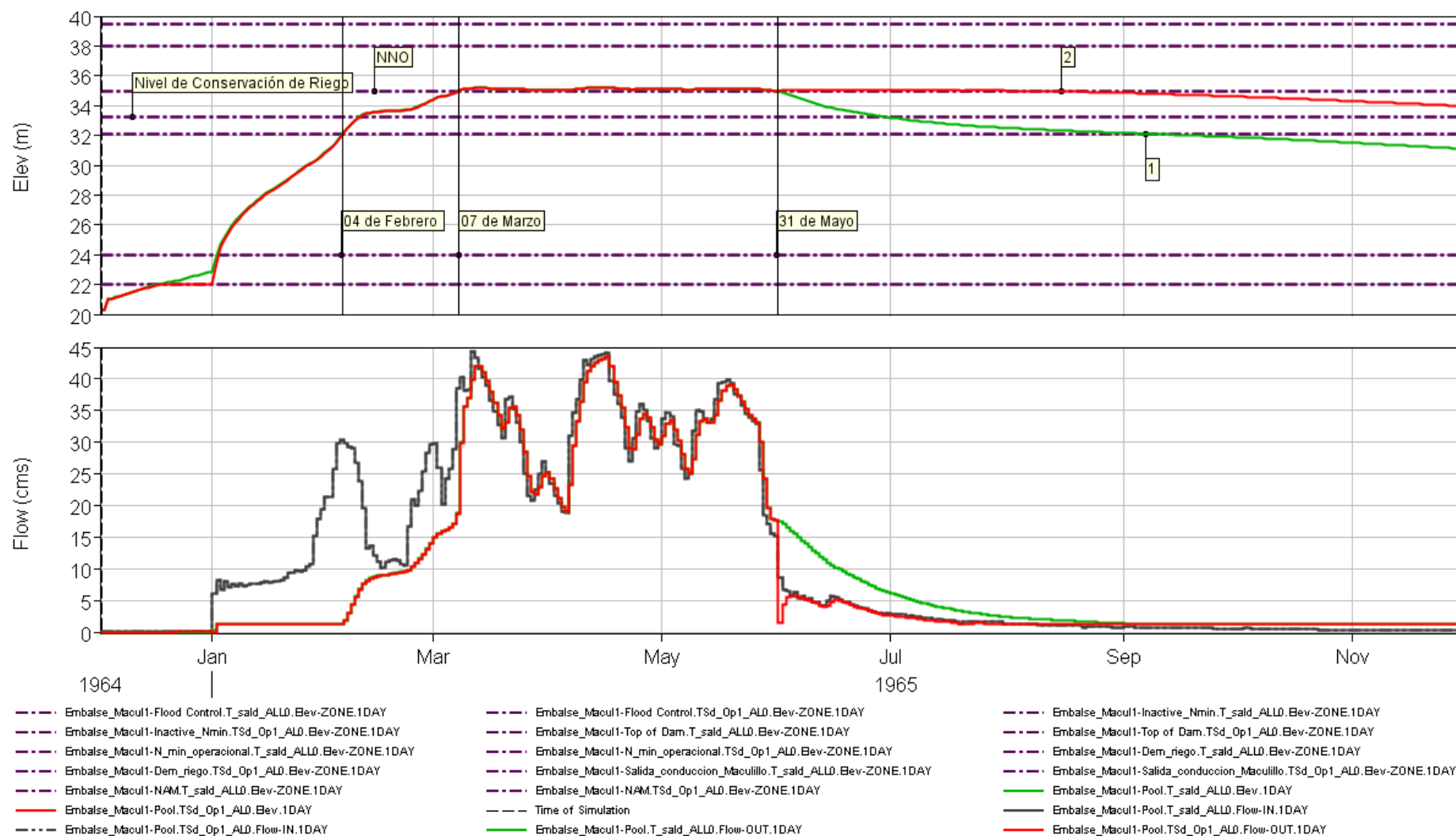
La simulación 1 garantiza que se trasvasará caudal a través de la conducción al embalse Maculillo una vez que el nivel de agua llegue a 32.09 m lo cual ocurre el 4 de febrero, incrementando de esta forma el caudal a la conducción, llegando a un caudal de  $16.54\text{m}^3/\text{s}$  una vez que alcance los 35 m lo cual ocurre el 7 de marzo, a partir de esta fecha existe laminación por el vertedero de excesos hasta el 30 de mayo eliminando en este tiempo un volumen de  $105469430.40\text{ m}^3$ . De acuerdo a esta simulación se trasvasará a Maculillo hasta el 9 de septiembre pues en esta fecha el nivel de agua está en la solera de la conducción, este comportamiento del embalse no garantiza el abastecimiento de riego, ya que en el mes de julio en donde inicia el periodo de riego el embalse alcanza una cota de 33.15 msnm inferior a la requerida pero a la vez se debe de considerar que el nivel de agua sigue descendiendo a lo largo del tiempo, como se observa en la curva 1 de la Figura 4.4, esto ocurre tanto por el aporte a la conducción como por el del caudal ecológico aguas abajo de la presa, por lo que de acuerdo a las restricciones antes mencionadas el volumen almacenado en esta simulación es insuficiente para garantizar la dotación de riego.

De acuerdo al análisis de la simulación 1, se tomaron restricciones para poder garantizar que en las simulación 2 el agua almacenada durante la época de invierno abastezca en verano.

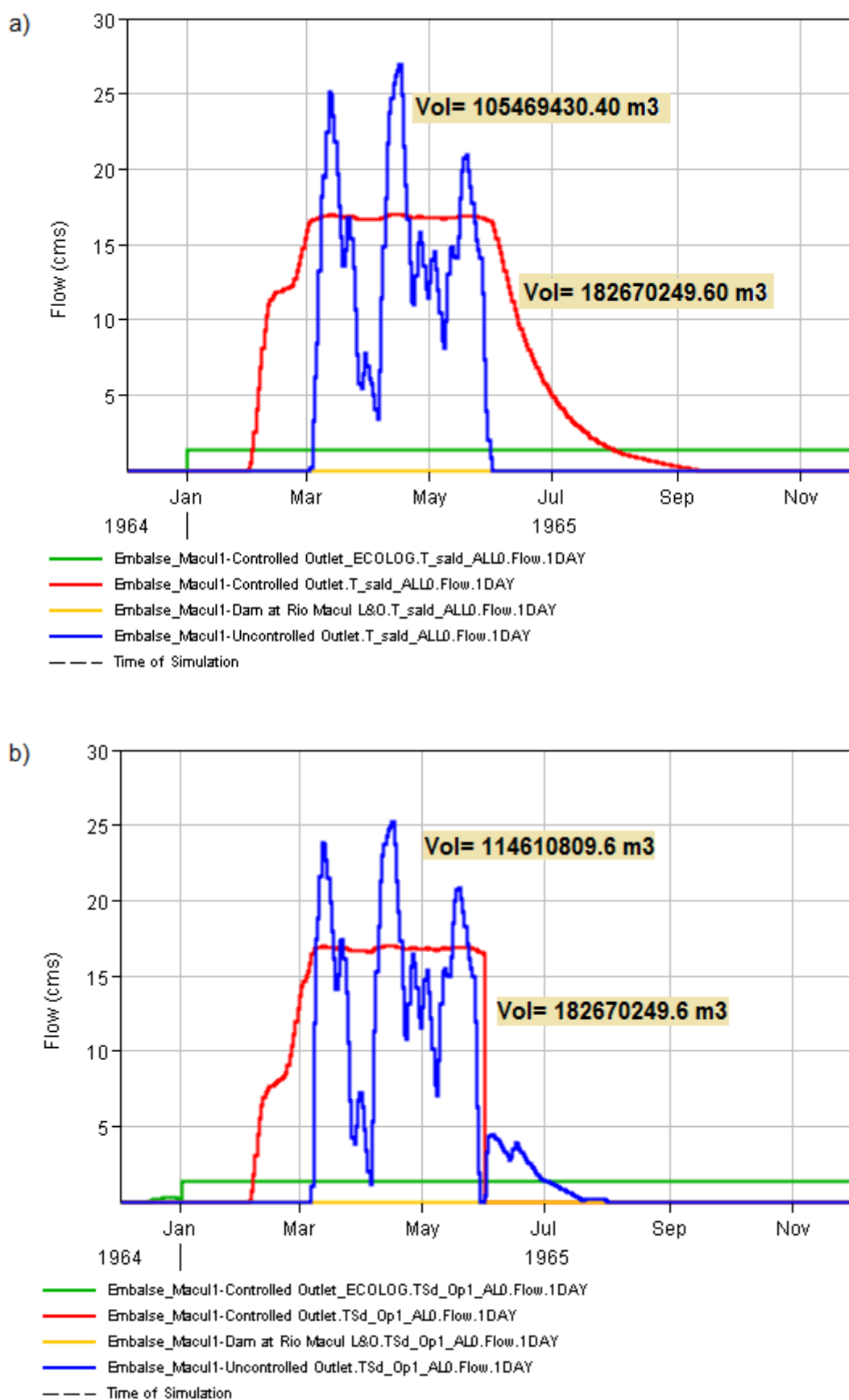
En la simulación 2 al igual que en la simulación 1 se consideran las mismas características del embalse, su diferencia es que en esta simulación se restringe las zonas del embalse es decir se condiciona que al llegar el 1 de junio se deja de trasvasar caudal al Embalse Maculillo, es decir, se cumple con la condición de que se trasvasará flujo a Maculillo solamente en época de invierno.

De acuerdo al análisis de esta simulación se tiene que en los primeros meses se produce el embalsamiento, garantizando el caudal ecológico a partir del 31 de diciembre, ya que los caudales entrantes al sistema antes de la fecha eran menores a este por lo que no existe almacenamiento, posterior a esto el nivel de agua llega a la cota 32.09 m el 31 de enero y se inicia el trasvase hacia el embalse Maculillo desde esta fecha hasta el 1 de junio garantizando un volumen trasvasado de  $182670250 \text{ m}^3$ . El excedente de agua será laminado a través del vertedero de excesos liberando  $116307273.60 \text{ m}^3$  desde el 5 de marzo hasta el 1 de agosto. Posterior a esto el 31 de noviembre el embalse alcanza una cota de 34 msnm lo que garantiza que durante los meses de riego (Julio-Octubre) se podrá abastecer satisfactoriamente las demandas de riego.

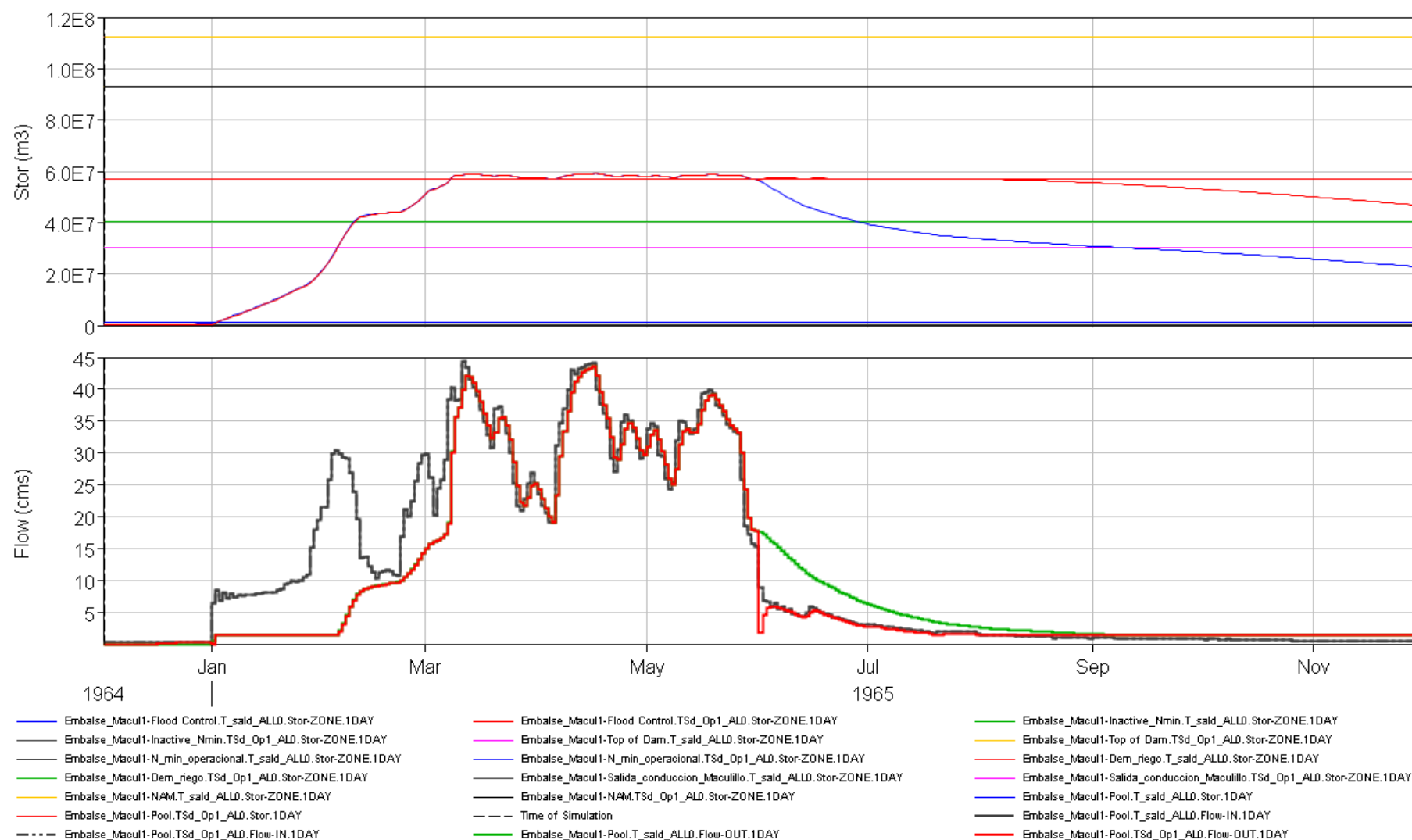
**Figura 4.4.** Gráfica de elevación y flujo de entrada y salida para el embalse Macul 1. Escenario: Año Lluvioso



**Figura 4.5.** Gráficas de flujo de salida del embalse. Escenario: Lluvioso



**Figura 4.6.** Gráfica de almacenamiento y flujo de entrada y salida para el embalse Macul 1. Escenario: Año Lluvioso



### **Escenario Año Seco**

Como se debía esperar para un año seco el embalse no alcanzó el NNO, es decir, no se produce su llenado, sin embargo trabaja cumpliendo todos los requerimientos para el cual está destinado, pero no de forma satisfactoria.

La Figura 4.7 muestra la curva de llenado del embalse, como se puede apreciar el máximo nivel que alcanza el embalse es de 34.2 m después del cual el nivel empieza a descender producto de la salida del caudal ecológico.

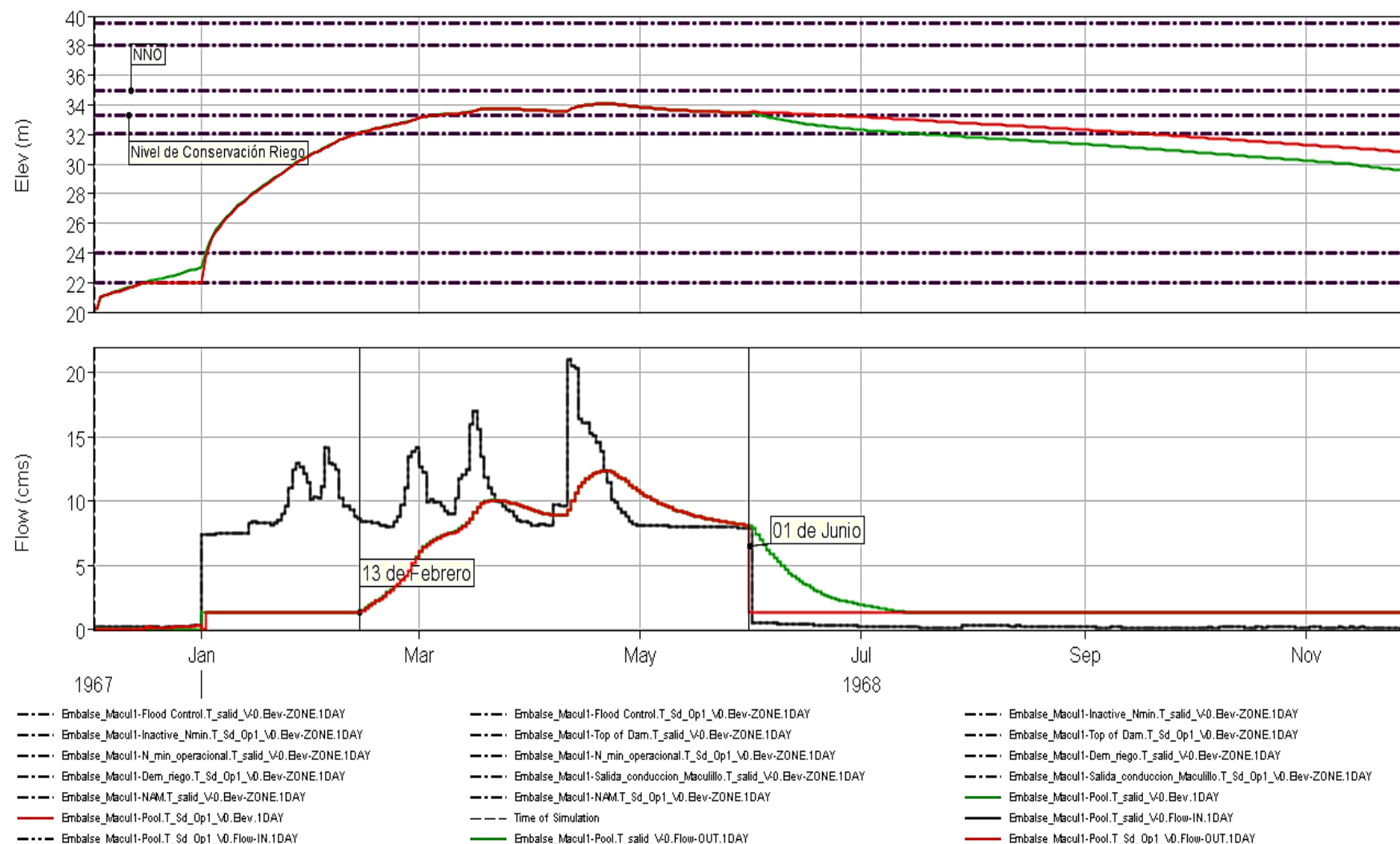
Como se puede ver en la Figura 4.8 no existe laminación por el vertedero de excesos, pues cuando el embalse alcanza niveles altos superiores al 32m, lo que hace es laminar hacia la conducción de Maculillo. Sin embargo, el volumen trasvasado hacia Maculillo no deja de ser representativo en relación a dos factores: a que el año es seco y al volumen que debe aportar el trasvase ( $93856727\text{m}^3$ ) cuya función principal es alimentar Maculillo, ya que por Macul 1 es simplemente agua de paso, pues Macul 1 es autosustentable.

También es necesario hacer notar que a pesar de ser un año seco permite salida de caudal ecológico constante, como se mencionó anteriormente, esta situación en la época de verano debería tener otra concepción, puesto que para años como este no va existir agua para cubrir toda la demanda del ecológico.

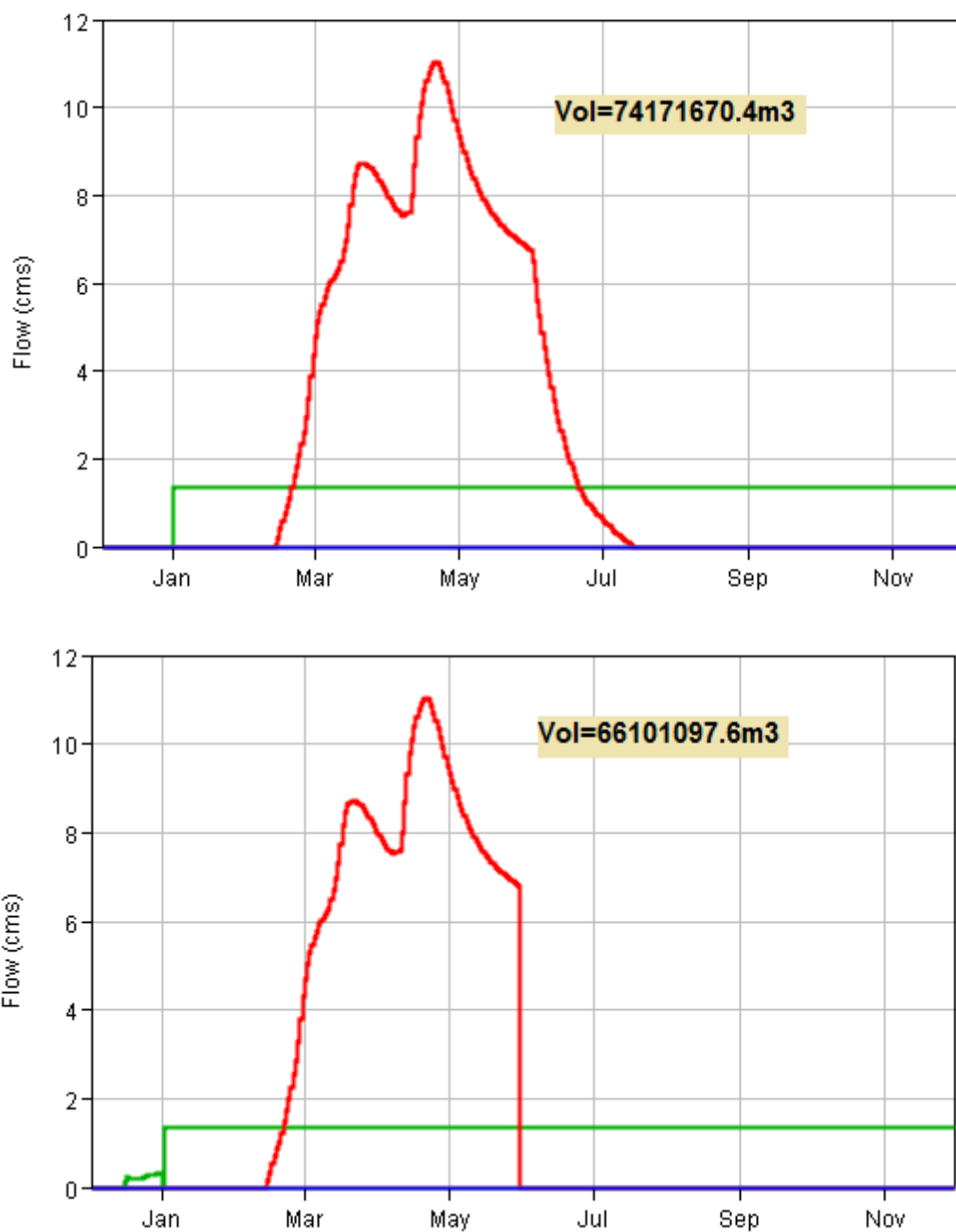
Para esta época es evidente que se deberá producir un racionamiento en la principal funcionalidad del embalse que es el riego. Se tendrá, de acuerdo a la cantidad de agua que puede llegar a ser almacenada ver la capacidad de proveer agua durante los cuatro meses de riego, cuantas horas diarias o cada cuantos días.



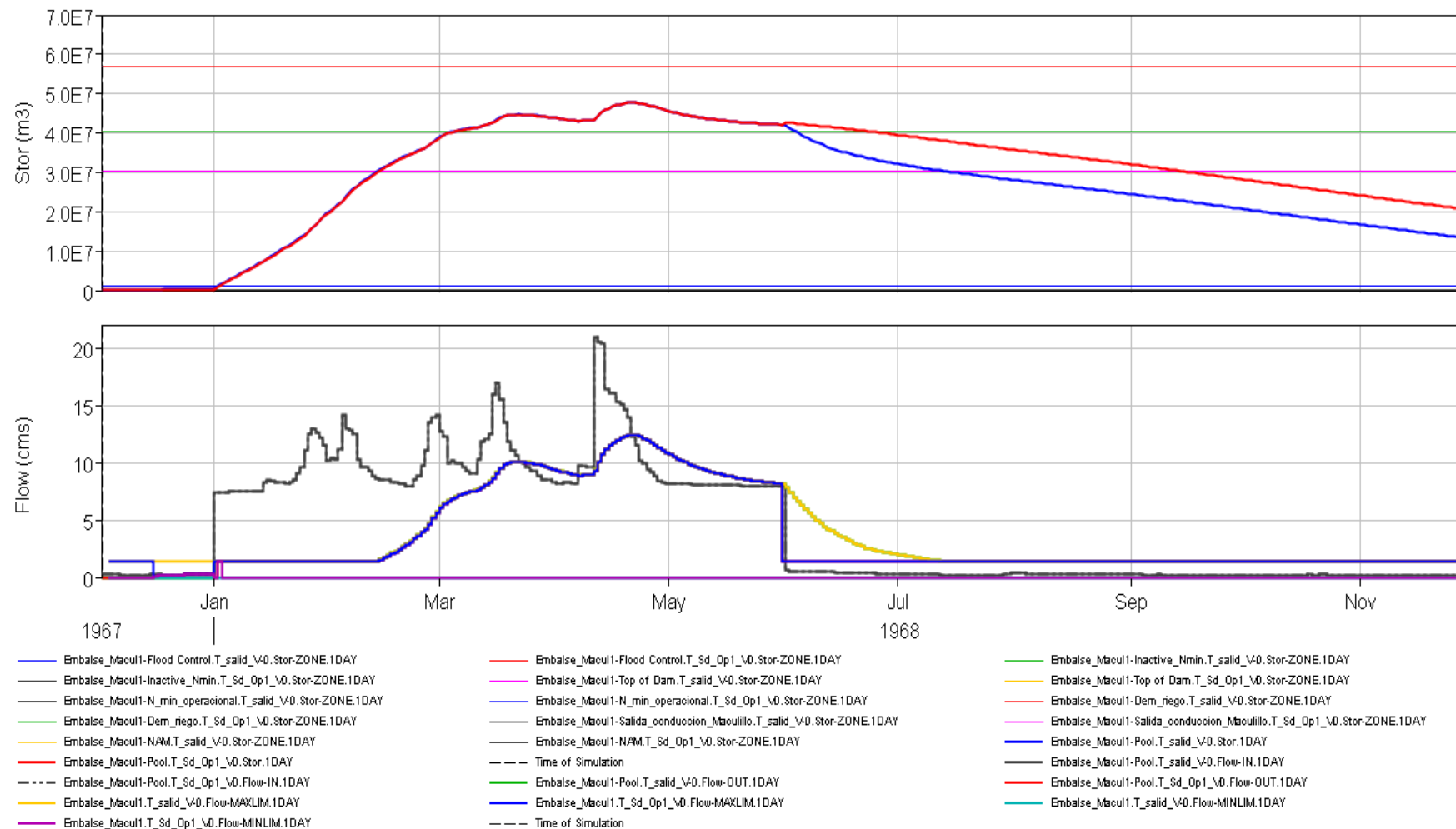
**Figura 4.7.** Gráfica de elevación y flujo de entrada y salida para el embalse Macul 1. Escenario: Año Seco



**Figura 4.8.** Gráficas de flujo de salida del embalse. Escenario: Seco



**Figura 4.9.** Gráfica de almacenamiento y flujo de entrada y salida para el embalse Macul 1. Escenario: Año seco



## CAPÍTULO 5

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

- El periodo normal de lluvias es 2005-2006, un periodo seco fue considerado los años 1967-1968 y un periodo lluvioso corresponde a los años 1964-1965, periodos que fueron determinados mediante una acumulación de volúmenes de precipitación. Donde la menor acumulación representa un periodo de sequía, una gran acumulación de lluvia puede considerarse dentro de un año lluvioso y para el periodo normal se comparó con la media.
- Los periodos de simulación se consideran de un año. Dentro de los cuales existen un periodo lluvioso y uno seco, siendo los meses de Diciembre hasta Mayo considerados como invierno y los meses de Junio a Noviembre como verano.
- Los entradas al sistema son: aporte de la propia cuenca, representado por los caudales medios diarios, continuos durante todo el tiempo de simulación; y el trasvase Quevedo-Macul, que solo permite el ingreso de caudal durante 5 meses del periodo de invierno (Enero-Mayo).
- Las salidas del sistema son: caudal ecológico aguas debajo de la presa, continuo durante todo el tiempo; el trasvase hacia Maculillo, se alimenta únicamente en el periodo de invierno, en el mismo tiempo en el que se produce el trasvase de Quevedo Macul; suministro de riego, durante 4 meses del periodo de verano (Julio-Noviembre); descarga de excesos en el caso de existir.
- La implementación del programa HEC-ResSim permite simular el comportamiento operacional del embalse para las diferentes temporadas del año, y así poder regular el funcionamiento de todas las estructuras tanto de entradas y salidas de manera que permitan el máximo aprovechamiento del embalse y el adecuado funcionamiento de sus componentes.

- El llenado del embalse para un escenario como lo es un año normal se produce aproximadamente en 82 días. Para el escenario lluvioso se llena en 73 días y para un escenario seco el embalse no se llena.
- Tanto para un escenario lluvioso como para un normal hay rebose de agua en volúmenes bastante grandes, aproximadamente  $39 \text{ Hm}^3$  para el año normal y unos  $110 \text{ Hm}^3$  para el lluvioso, para el escenario seco considerado no se produce salida de caudal por el vertedero.
- El volumen de agua transportado desde Macul hacia Maculillo para los escenarios lluviosos y normales representa un volumen casi igual o excedido al volumen de almacenamiento de la presa Maculillo. Lo que en realidad no debería producirse pues la concepción del trasvase Quevedo-Macul es justamente alimentar Maculillo pero no en su totalidad, ya que su propia cuenca lo llena en aproximadamente un 34% de su capacidad. Para un año seco la conducción transporta aproximadamente un 78% del volumen que debería aportar el trasvase, lo que implica que tal cantidad para un año seco es relativamente considerable.
- Lo antes mencionado lleva a concluir que hay un excedente de agua en gran magnitud, que debe ser considerado y analizado para que este exceso de agua sea debidamente utilizado.
- El programa HEC-ResSim si se dispone de todos los datos requeridos por el mismo, es una excelente herramienta para simular el comportamiento de embalses. Si se tiene definida la funcionalidad de un embalse o en su lugar un sistema de embalses, el programa permite conocer la operación del mismo de acuerdo a las restricciones que se impongan en la liberación de agua y de esta manera a través del mismo optimizar el recurso hídrico.

## RECOMENDACIONES

- El programa HEC-ResSim es una herramienta muy poderosa para el análisis del funcionamiento de sistemas de embalse.
- El nivel de ingreso de datos es muy completo y para una buena simulación se necesita el ingreso de varios parámetros que deben estar definidos de manera adecuada para que el programa sea aplicado correctamente.
- Utilizar el modelo en etapas avanzadas de estudio teniendo cuidado de que la información disponible este completa.
- Analizar la confiabilidad de los datos de ingreso hacia el programa, es decir, los datos de caudales medios diarios, además estos deber ser representativos de la zona a simular.
- En caso de déficit de agua para satisfacer las demandas de riego y caudal ecológico, se recomienda regular la salida por la conducción hacia Maculillo, pues el caudal que se descarga hacia el embalse está por encima del requerido, ese excedente podría satisfacer las necesidades de riego y ecológico.
- Completar la información con respecto a riego, infiltración y características generales del río para obtener una simulación adecuada del funcionamiento del embalse.

## REFERENCIAS

- A. Van Griensven, & W. Bauwens. (s. f.). Modelling surface water hydrology. *Surface water hydrology*. Bruselas.
- Chávarri Velarde Eduardo A. (2008). El Ciclo Hidrológico e Introducción a Modelos Hidrológicos (Vol. 2, p. 15). Presentado en Método de Análisis en Ingeniería de Recursos Hídricos, Escuela de Posgrado-Universidad Agraria «La Molina».
- Chereque Moran, W. (1989). Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil. Disponible: <http://agris.fao.org/agrissearch/search/display.do?f=2008/PE/PE0703.xml;PE1989103726>.
- COMET Program. (2006). Comprensión del Ciclo Hidrológico.
- Dr. Khalidou M. Ba. (s. f.). *Modelación hidrológica de caudales diarios*. Presentado en Centro Interamericano de recursos del agua, México. Disponible en <http://idrisi.unl.edu.ec/IMG/pdf/ModelacionHidro.pdf>
- Estrela Teodoro. (1992). *Modelos Matemáticos para la evaluación de recursos hídricos* (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.). Madrid, España: DIN IMPRESORES, SL.
- Fattorelle Sergio, F. P. (2011). *Diseño Hidrológico* (Digital.). Paris, France: Estudio Fernandez-Dorca.
- Fernandez P. (1978). *Revision de hidrología determinística* (Escuela de Ingeniería Hidráulica.). Buenos Aires: UBA.
- Guillermo, M. R. J., Isidro, R. J., Andrés, Q. C., & Ramon, T. C. (2008). Modelación de procesos hidrológicos utilizando sistemas de informacion geográfica. Disponible en: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/handle/123456789/2063>
- Hec-DSS-User's Guide and Utility Manuals*. (1995) (U.S Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center.).
- Heras Rafael. (1982). *Métodos de cálculo del balance hídrico*. Madrid- España: A.A Sokolov.
- Iñiguez, Vicente Mauricio. (2003). *Balance Hidrico de Microcuencas de Páramo*. Universidad de Cuenca, Cuenca -Ecuador.
- López, C. B., Moreno, J. M., & Ortiz, M. I. L. (2012). *Los bienes culturales y su aportación al desarrollo sostenible*. Universidad de Alicante.
- PROMAS. (2013a). *PLAN DE APROVECHAMIENTO Y CONTROL DEL AGUA EN LA PROVINCIA DE LOS RÍOS* (Vol. Informe de Prefactibilidad). Universidad de Cuenca.
- PROMAS. (2013b). *PLAN DE APROVECHAMIENTO Y CONTROL DEL AGUA EN LA PROVINCIA DE LOS RÍOS* (Vol. Informe de Hidrología). Universidad de Cuenca.
- PROMAS. (2013c). *PLAN DE APROVECHAMIENTO Y CONTROL DEL AGUA EN LA PROVINCIA DE LOS RÍOS* (Vol. tomo 6, Agrología). Universidad de Cuenca.

- Quezada, R. A. P., Román, A. E. B., & Castañeda, C. L. (2002). Transpiración, resistencia estomática y potenciales hídricos en manzano 'Golden Delicious' injertado sobre portainjertos clonales. *Terra Latinoamericana*, 20(2), 113-121.
- Rani, D., & Moreira, M. M. (2010). Simulation–Optimization Modeling: A Survey and Potential Application in Reservoir Systems Operation. *Water Resources Management*, 24(6), 1107-1138
- Rodríguez Rosa, & Capa Benito. (2004). *Meteorología y climatología* (FECYT.). España: Villena Artes Gráficas. Disponible en: <http://cab.inta-csic.es/uploads/culturacientifica/adjuntos/20130121115236.pdf>
- Sanchez Ordoñez Julio. (1974). *Modelos matemáticos en hidrología*. Bogota, Colombia.
- USACE, HEC-ResSim Reservoir System Simulation – User's Manual. Version 3.0, 2007. U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. Disponible en: [www.hec.usace.army.mil](http://www.hec.usace.army.mil)
- USACE, HEC-ResSim Reservoir System Simulation – Quick Start Guide. Version 3.0, 2007. U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. Disponible en: [www.hec.usace.army.mil](http://www.hec.usace.army.mil)
- Van Der Made, J.W. (1972). *Streamflow and water levels*. Geneva.
- Chow, V. T. (1994). *Hidrologia Aplicada* (Applied Hydrology.). McGRAN -HILL, INTERAMERICANA, SA.
- Wondye Fanuel. (2009, octubre). *Abay basin water allocation modelling using Hec-ResSim*. Addis Ababa University.





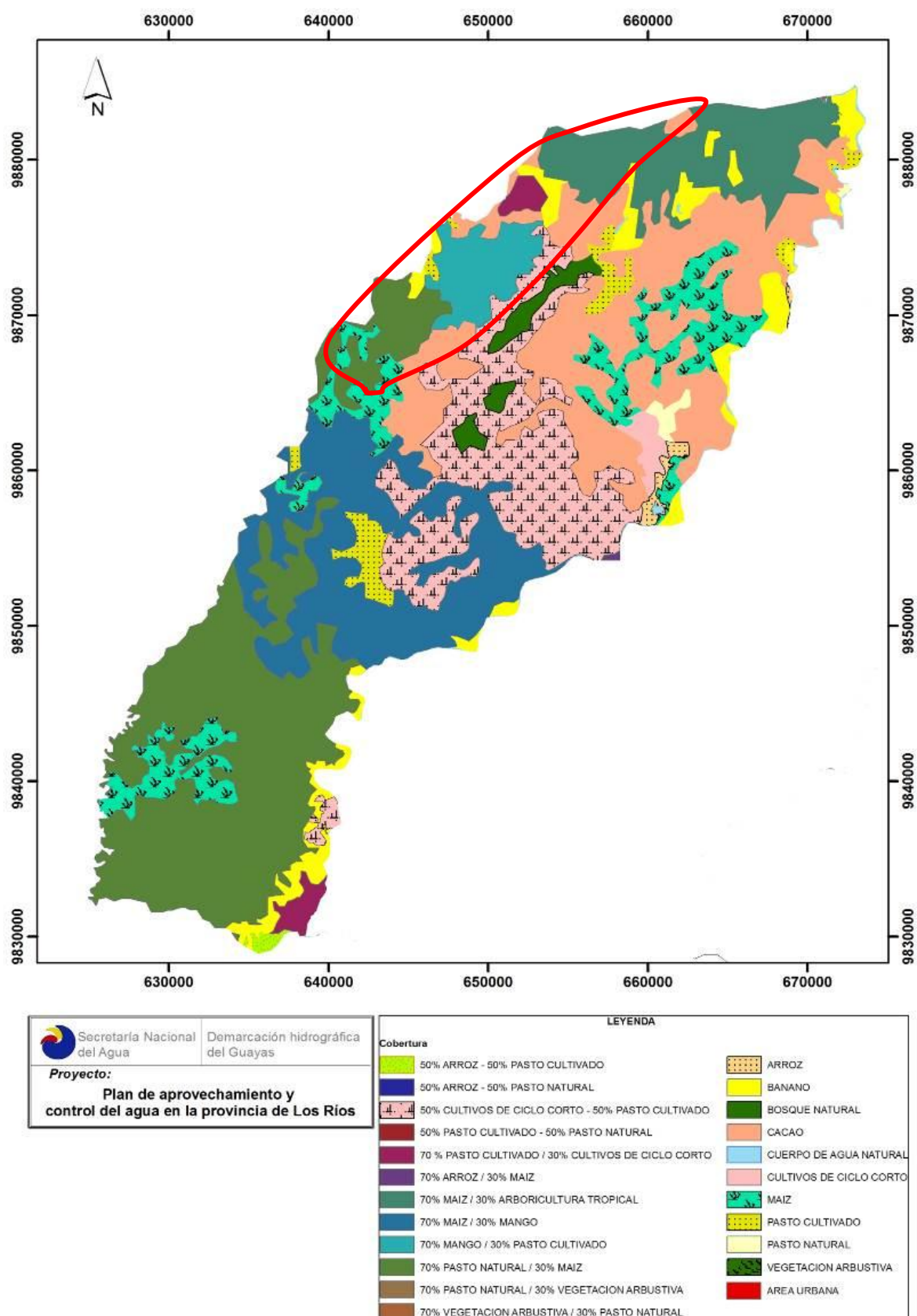
## ANEXOS

## Anexo 1. Mapa del área del proyecto PACALORI





## Anexo 2. Mapa de cobertura vegetal



**Fuente:** PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2013

**Anexo 3. Tabla de lluvias medias mensuales. Cuenca del Macul Est. Pte. Carretero**

Estación:	Macul Pte. Carretero					LATITUD: 1° 3' 54" S				PERIODO:		1964-2010	
Registro:	Lluvias mensuales (mm)					LONGITUD: 79° 36' 55"W							
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1964	599.6	390.4	515.9	427.8	63.60	21.7	11.8	18	9	26.7	26.1	46.30	2156.9
1965	405.7	390.2	599.1	735.2	424.6	160.5	16.6	13.1	49.8	42.7	19.9	208.5	3065.9
1966	589.5	500.4	510.1	224.3	113.3	63.1	4.3	47.6	13.9	49.1	22.1	100.9	2238.6
1967	605.3	601.9	342.0	139.5	125.0	28.7	15	6.5	12.2	19.4	5.8	49.80	1951.1
1968	368.3	236.2	212.8	165.3	28.60	32.3	3.9	27.9	38.1	10.1	18.9	206.3	1348.6
1969	269.9	248.8	511.2	597.5	220.9	173.5	12.2	14.2	7.1	9.9	41.2	148.6	2255.0
1970	343.6	350.9	165.9	515.5	374.1	48.2	8.4	3.2	12.3	21.4	28.5	113.6	1985.6
1971	287.7	485.6	733.8	242.9	23.70	58.6	3.1	8.9	29.9	19.7	16.4	132.4	2042.9
1972	351.3	451.9	578.9	426.7	228.9	449.5	48.1	60.7	30.2	64.2	61.1	288.4	3040.0
1973	501.5	474.4	485.5	522.1	270.4	66.7	14.8	12.4	47.3	20.2	22.5	162.1	2599.9
1974	202.3	357.9	312.1	362.6	91.70	24	3.8	7.1	18.4	25.3	32.5	246.5	1684.1
1975	452.5	670.4	674.6	384.0	72.60	67.5	17.5	17.2	11.4	41.3	20.2	92.80	2522.0
1976	528.9	499.5	619.2	485.5	243.2	110.4	22.1	12.5	8.4	22.4	16.8	177.9	2746.7
1977	375.4	309.0	602.9	265.4	136.7	114.5	6.8	4.3	42.1	9.1	4.6	180.8	2051.8
1978	294.9	373	327.7	287.3	177.4	11.4	9.3	4.1	12.1	13.6	18.8	91.00	1620.6
1979	221.3	347.5	448.3	266.2	60.20	46.6	2.7	7.2	24.5	18.5	3.1	18.90	1464.8
1980	336.5	455.2	299.1	443.5	218.2	11.1	2.1	8.8	4.2	19.1	16.9	43.90	1858.7
1981	224.8	480.2	456.0	246.7	16.40	4.8	15.3	6	11.9	7.1	35.9	123.9	1629.0
1982	437.7	362.9	219.2	255.7	99.00	3.2	6.1	7.2	14.8	208.9	460.5	800.3	2875.5
1983	825.8	542.4	672.2	456.5	632.5	401.8	448.5	114.2	185	72.8	125.9	179.1	4656.7
1984	124.9	571.3	481.7	278.6	49.60	72	8.9	8.1	22.9	13.4	28.3	201.2	1860.9
1985	255.2	255.0	316.8	147.9	77.30	23.9	6	10.8	33.8	7.5	21.1	240.5	1395.7
1986	619.7	325.2	183.2	395.1	38.20	4.1	2.3	6	10.1	56.4	29.7	149.6	1819.8
1987	515.2	498.4	607.3	483.4	285.8	5.7	6.8	48.4	14	30.2	32.6	121.7	2649.4
1988	450.9	551.6	150.2	304.5	223.7	21.4	12.2	7.4	17.5	13.1	26.8	114.1	1893.4
1989	450.1	532.8	451.4	469.2	120.5	27.2	11.9	4.7	8.9	41.6	25.8	113.4	2257.3
1990	189.5	430.2	221.7	236.1	60.80	27	16.1	1.9	3	18.9	11	127.4	1343.7
1991	200.6	620.5	379.5	252.4	84.00	13.9	5.1	3.2	4.8	13.7	31.9	217.0	1826.6
1992	504.0	575.1	643.6	865.1	526.5	121.3	42.8	7.5	12.8	15.6	10	102.4	3426.7
1993	411.7	653.7	516.9	534.8	104.5	42.3	13.3	12	21.2	22.5	11.9	165.1	2510.0
1994	480.7	426.3	388.8	367.8	117.9	27.5	3.7	3.8	8.2	49.3	19	273.5	2166.6
1995	446.3	268.0	242.9	384.0	94.00	35.9	33	16.5	3.6	23.2	29	68.20	1644.6
1996	304.6	471.3	479.3	245.3	39.30	6.9	14.1	11.5	7	5.5	26.2	92.90	1703.9
1997	318.8	390.3	506.7	426.7	338.3	265.3	279.8	132.2	489.2	234.3	963.2	767.5	5112.1
1998	883.1	708.6	845.8	784.2	684.5	280.2	129	26.9	20.3	13.3	45.1	45.70	4466.7
1999	170.4	518.1	605.7	464.4	321.1	14.7	12	3.5	79.2	24.2	28.4	207.5	2449.3
2000	221.1	307.5	468.0	413.3	181.8	27.4	2.4	5.4	15.1	10.4	12	88.10	1752.6
2001	570.3	335.2	381.0	485.2	152.5	3.8	6.6	2.3	9.4	5.1	17.7	75.40	2044.6
2002	208.6	525.0	767.1	615.8	221.5	56.8	6.6	3.4	11.1	30.9	54.4	228.7	2729.8
2003	417.9	400.6	298.7	338.5	182.9	41.2	36.8	16.1	3.4	60	58.1	171.6	2026.0
2004	241.6	273.1	370.4	364.7	251.5	14.1	14.3	6.2	29.1	30.6	7.5	40.30	1643.4
2005	224.8	261.1	280.7	455.7	8.300	3.9	6.4	2.4	5.3	8.2	11.8	119.7	1388.1
2006	281.8	717.6	525.0	232.1	67.30	29.9	13.6	16.7	15.1	6.3	55.6	66.90	2028.0
2007	298.4	265.3	398.5	393.7	150.6	39.3	22	5.1	7	5.3	24.9	80.10	1690.3
2008	582.3	550.3	527.5	416.2	152.9	23.9	15.8	63.8	19	26.6	17.2	38.80	2434.2
2009	430.8	314.2	406.8	206.6	121.8	20.6	3.5	8.3	5.5	16.9	6.2	160.5	1701.7
2010	363.3	683.8	501.6	581.7	166.5	27.2	47.5	6.4	17.4	8.9	34.7	318.2	2757.0
MEDIA	391.3	445.9	451.8	395.6	179.7	67.6	30.7	17.9	31.4	32.2	56.1	166.1	2266.3
MAXIMA	883.1	717.6	845.8	865.1	684.5	449.5	448.5	132.2	489.2	234.3	963.2	800.3	5112.1
MINIMA	124.9	236.2	150.2	139.5	8.30	3.2	2.1	1.9	3	5.1	3.1	18.9	1343.7
s n-1	165.7	133.8	165.5	160.6	151.5	97.8	76	26.7	73.9	43.7	150.6	149.9	822.2

**Fuente:** PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2013

# Anexo 4. Análisis de precipitaciones acumuladas para selección de escenario

Periodo	Precip.Acum (mm) Periodo	Precip.Acum (mm) Año	Periodo	Precip.Acum (mm) Periodo	Precip.Acum (mm) Año
Jun-64/Nov-64	113.30		Dic-88/May-89	2138.10	
Dic-64/May-65	2601.10		Jun-89/Nov-89	120.10	2258.20
Jun-65/Nov-65	302.60	2903.70	Dic-89/May-90	1251.70	
Dic-65/May-66	2146.10		Jun-90/Nov-90	77.90	1329.60
Jun-66/Nov-66	200.10	2346.20	Dic-90/May-91	1664.40	
Dic-66/May-67	1914.60		Jun-91/Nov-91	72.60	1737.00
Jun-67/Nov-67	87.60	2002.20	Dic-91/May-92	3331.30	
Dic-67/May-68	1061.00		Jun-92/Nov-92	210.00	3541.30
Jun-68/Nov-68	131.20	1192.20	Dic-92/May-93	2324.00	
Dic-68/May-69	2054.60		Jun-93/Nov-93	123.20	2447.20
Jun-69/Nov-69	258.10	2312.70	Dic-93/May-94	1946.60	
Dic-69/May-70	1898.60		Jun-94/Nov-94	111.50	2058.10
Jun-70/Nov-70	122.00	2020.60	Dic-94/May-95	1708.70	
Dic-70/May-71	1887.30		Jun-95/Nov-95	141.20	1849.90
Jun-71/Nov-71	136.60	2023.90	Dic-95/May-96	1608.00	
Dic-71/May-72	2170.10		Jun-96/Nov-96	71.20	1679.20
Jun-72/Nov-72	713.80	2883.90	Dic-96/May-97	2073.70	
Dic-72/May-73	2542.30		Jun-97/Nov-97	2364.00	4437.70
Jun-73/Nov-73	183.90	2726.20	Dic-97/May-98	4673.70	
Dic-73/May-74	1488.70		Jun-98/Nov-98	514.80	5188.50
Jun-74/Nov-74	111.10	1599.80	Dic-98/May-99	2125.40	
Dic-74/May-75	2500.60		Jun-99/Nov-99	162.00	2287.40
Jun-75/Nov-75	175.10	2675.70	Dic-99/May-00	1799.20	
Dic-75/May-76	2469.10		Jun-00/Nov-00	72.70	1871.90
Jun-76/Nov-76	192.60	2661.70	Dic-00/May-01	2012.30	
Dic-76/May-77	1867.30		Jun-01/Nov-01	44.90	2057.20
Jun-77/Nov-77	181.40	2048.70	Dic-01/May-02	2413.40	
Dic-77/May-78	1641.10		Jun-02/Nov-02	163.20	2576.60
Jun-78/Nov-78	69.30	1710.40	Dic-02/May-03	1867.30	
Dic-78/May-79	1434.50		Jun-03/Nov-03	215.60	2082.90
Jun-79/Nov-79	102.60	1537.10	Dic-03/May-04	1672.90	
Dic-79/May-80	1771.40		Jun-04/Nov-04	101.80	1774.70
Jun-80/Nov-80	62.20	1833.60	Dic-04/May-05	1270.90	
Dic-80/May-81	1468.00		Jun-05/Nov-05	38.00	1308.90
Jun-81/Nov-81	81.00	1549.00	Dic-05/May-06	1943.50	
Dic-81/May-82	1498.40		Jun-06/Nov-06	137.20	2080.70
Jun-82/Nov-82	700.70	2199.10	Dic-06/May-07	1573.40	
Dic-82/May-83	3929.70		Jun-07/Nov-07	103.60	1677.00
Jun-83/Nov-83	1348.20	5277.90	Dic-07/May-08	2309.30	
Dic-83/May-84	1685.20		Jun-08/Nov-08	166.30	2475.60
Jun-84/Nov-84	153.60	1838.80	Dic-08/May-09	1519.00	
Dic-84/May-85	1253.40		Jun-09/Nov-09	61.00	1580.00
Jun-85/Nov-85	103.10	1356.50	Dic-09/May-10	2457.40	
Dic-85/May-86	1801.90		Jun-10/Nov-10	142.10	2599.50
Jun-86/Nov-86	108.60	1910.50		MIN=	1192.20
Dic-86/May-87	2539.70			MAX=	2903.70
Jun-87/Nov-87	137.70	2677.40		MEDIA=	2048.00
Dic-87/May-88	1802.60				
Jun-88/Nov-88	98.40	1901.00			

**Anexo 5. Caudal medio diario en la estación Macul en Hacienda Brasilia. Invierno 1964-1965**

DÍA	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
1	0.249	0.212	14.225	22.509	16.218	26.401	7.620	3.020	1.476	0.982	0.765	0.517
2	0.212	0.212	18.475	18.822	14.268	27.381	6.820	2.970	1.438	0.982	0.736	0.517
3	0.23	0.212	22.564	12.911	13.155	26.745	5.859	2.970	1.438	0.982	0.795	0.517
4	0.23	0.230	23.159	17.083	11.823	22.436	5.857	2.945	1.400	0.950	0.795	0.517
5	0.221	0.230	22.564	18.464	11.697	22.245	5.825	2.636	1.400	0.950	0.765	0.543
6	0.212	0.239	22.026	21.659	23.766	18.614	5.419	2.726	1.363	0.950	0.736	0.517
7	0.212	0.249	21.815	31.154	27.447	16.984	5.508	2.630	1.363	0.918	0.736	0.517
8	0.212	0.249	19.520	32.922	29.563	18.061	5.197	2.536	1.363	0.918	0.765	0.492
9	0.212	0.258	16.556	30.951	32.553	24.597	5.197	2.467	1.327	0.918	0.707	0.492
10	0.203	0.299	12.297	31.072	35.646	27.788	4.809	2.398	1.327	0.918	0.678	0.517
11	0.194	0.443	6.103	37.016	34.941	27.555	4.685	2.329	1.291	0.886	0.623	0.517
12	0.194	0.492	6.356	36.029	35.913	26.400	4.335	2.262	1.291	0.886	0.650	0.492
13	0.194	0.517	4.957	34.302	36.159	25.773	4.221	2.195	1.291	0.886	0.650	0.492
14	0.194	0.708	3.972	32.983	36.399	26.400	4.986	2.129	1.255	0.855	0.623	0.492
15	0.194	0.780	2.997	31.622	36.638	29.443	5.761	2.086	1.255	0.855	0.623	0.492
16	0.194	0.795	3.968	29.323	36.878	32.055	5.729	2.043	1.255	0.855	0.623	0.492
17	0.194	0.795	4.136	27.556	32.486	32.177	5.228	1.979	1.219	0.825	0.623	0.492
18	0.194	0.855	4.278	25.492	30.343	32.548	4.803	1.736	1.219	0.825	0.623	0.492
19	0.194	1.015	4.080	23.377	28.789	31.992	4.803	1.514	1.184	0.825	0.596	0.492
20	0.194	1.457	3.510	29.511	26.631	30.223	4.567	1.915	1.184	0.795	0.596	0.492
21	0.194	2.087	3.403	29.983	21.827	29.861	4.249	1.915	0.825	0.795	0.596	0.492
22	0.212	2.352	9.438	27.964	19.776	28.498	4.164	1.915	1.115	0.795	0.596	0.492
23	0.23	2.583	13.818	25.775	23.326	27.149	4.024	1.915	1.081	0.795	0.569	0.492
24	0.249	2.537	12.763	22.734	27.500	26.687	3.858	1.915	1.048	0.795	0.569	0.492
25	0.249	2.540	15.143	17.824	28.729	26.114	3.615	1.894	1.015	0.765	0.569	0.492
26	0.239	3.171	18.261	14.283	27.730	25.660	3.403	1.874	1.015	0.765	0.556	0.468
27	0.23	3.535	21.073	13.640	26.116	18.408	3.222	1.874	0.982	0.765	0.543	0.468
28	0.23	7.964	22.401	15.378	23.380	11.156	3.095	1.874	0.982	0.765	0.543	0.468
29	0.23	10.544		17.814	21.813	9.908	3.020	1.874	0.950	0.765	0.543	0.443
30	0.221	12.208		19.621	22.727	8.458	3.095	1.874	0.950	0.765	0.543	0.443
31	0.212	14.180		17.964		8.016		1.511	0.918		0.543	

**Fuente:** PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2013

**Anexo 6. Caudal medio diario en la estación Macul Hacienda Brasilia. Año Seco 1967-1968**

DÍA	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
1	0.230	0.065	3.070	5.382	0.825	0.825	0.596	0.288	0.336	0.263	0.190	0.200
2	0.230	0.065	2.920	4.953	0.825	0.825	0.543	0.268	0.334	0.267	0.190	0.207
3	0.230	0.065	3.858	2.583	0.950	0.825	0.543	0.268	0.336	0.236	0.153	0.208
4	0.230	0.104	6.887	2.822	0.950	0.825	0.543	0.268	0.332	0.154	0.194	0.206
5	0.230	0.194	5.634	2.583	0.825	0.825	0.543	0.268	0.320	0.154	0.203	0.201
6	0.230	0.194	5.508	2.583	0.825	0.825	0.517	0.268	0.315	0.154	0.201	0.198
7	0.212	0.194	5.135	2.352	2.443	0.765	0.517	0.268	0.319	0.154	0.196	0.180
8	0.212	0.194	2.920	1.915	2.398	0.765	0.492	0.249	0.317	0.246	0.202	0.158
9	0.212	0.194	2.352	1.710	2.352	0.736	0.492	0.249	0.325	0.215	0.212	0.185
10	0.212	0.194	2.352	1.710	2.307	0.736	0.492	0.230	0.315	0.215	0.213	0.205
11	0.212	0.194	2.000	2.920	13.685	0.736	0.492	0.230	0.298	0.145	0.204	0.145
12	0.212	0.194	1.514	4.479	13.242	0.707	0.492	0.212	0.298	0.151	0.217	0.145
13	0.212	0.230	1.327	4.773	13.067	0.707	0.468	0.212	0.304	0.157	0.204	0.205
14	0.212	1.015	1.149	5.197	9.132	0.707	0.443	0.212	0.292	0.157	0.221	0.135
15	0.222	1.149	1.149	8.679	8.754	0.707	0.443	0.212	0.296	0.157	0.162	0.181
16	0.224	1.048	1.149	9.672	8.754	0.707	0.443	0.212	0.294	0.157	0.150	0.205
17	0.230	1.015	0.982	8.234	8.015	0.707	0.420	0.194	0.296	0.157	0.139	0.190
18	0.211	0.982	0.982	6.150	7.799	0.707	0.396	0.194	0.275	0.157	0.234	0.190
19	0.209	0.982	0.825	4.538	7.302	0.707	0.396	0.194	0.265	0.157	0.213	0.180
20	0.196	0.825	0.825	3.749	6.615	0.678	0.374	0.194	0.270	0.166	0.166	0.180
21	0.195	0.982	0.678	3.273	5.014	0.678	0.374	0.177	0.249	0.166	0.247	0.180
22	0.205	1.219	0.678	2.726	4.136	0.678	0.374	0.177	0.249	0.166	0.236	0.176
23	0.210	1.710	1.149	2.583	2.822	0.678	0.352	0.160	0.246	0.178	0.213	0.171
24	0.236	2.352	1.552	2.352	2.583	0.678	0.352	0.160	0.246	0.170	0.209	0.171
25	0.244	3.749	2.443	2.000	2.129	0.678	0.309	0.144	0.246	0.182	0.209	0.171
26	0.298	5.135	3.749	1.915	1.832	0.678	0.309	0.144	0.249	0.179	0.209	0.155
27	0.296	5.634	6.150	1.514	1.476	0.678	0.309	0.144	0.249	0.179	0.209	0.050
28	0.296	5.320	6.615	1.219	1.081	0.650	0.309	0.144	0.249	0.190	0.209	0.050
29	0.306	4.893	6.887	1.149	0.950	0.650	0.309	0.326	0.265	0.190	0.200	0.050
30	0.322	4.136		1.149	0.855	0.623	0.288	0.326	0.271	0.186	0.200	0.050
31	0.322	2.822		0.982		0.623		0.334	0.263		0.200	

**Fuente:** PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2013



**Anexo 7. Caudal medio diario en la estación Macul en Hacienda Brasilia. Año Normal 2005-2006**

DÍA	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
1	0.209	0.879	11.534	10.421	4.649	1.537	0.557	0.397	0.360	0.245	0.185	0.141
2	0.224	0.853	13.582	16.398	4.541	1.588	0.557	0.415	0.343	0.246	0.182	0.150
3	0.202	0.827	13.367	20.496	8.393	1.851	0.536	0.415	0.325	0.257	0.189	0.150
4	0.231	0.879	14.654	22.026	26.325	1.888	0.546	0.415	0.292	0.268	0.202	0.138
5	0.182	0.623	17.202	21.599	28.621	1.692	0.535	0.392	0.309	0.245	0.176	0.150
6	0.210	0.612	22.848	21.440	26.851	1.605	0.557	0.369	0.292	0.238	0.175	0.195
7	0.202	0.645	27.076	24.891	20.736	2.534	0.567	0.369	0.317	0.209	0.182	0.156
8	0.188	0.612	25.404	28.081	17.004	2.514	0.578	0.378	0.325	0.202	0.175	0.163
9	0.175	0.578	19.094	27.843	10.801	1.999	0.623	0.369	0.261	0.202	0.195	0.195
10	0.202	0.557	22.511	29.163	7.535	1.943	0.623	0.360	0.245	0.238	0.169	0.163
11	0.210	0.662	25.515	28.260	7.401	1.554	0.646	0.360	0.227	0.216	0.202	0.150
12	0.224	0.535	27.548	28.022	5.092	1.374	0.657	0.360	0.209	0.202	0.163	0.163
13	0.261	0.504	29.344	28.862	4.443	1.249	0.601	0.360	0.284	0.216	0.166	0.209
14	0.216	0.504	28.981	28.560	4.514	1.281	0.557	0.360	0.292	0.202	0.169	0.156
15	0.246	0.454	27.785	26.031	3.866	1.029	0.536	0.334	0.300	0.206	0.216	0.189
16	0.245	0.474	26.088	25.173	3.379	1.071	0.515	0.325	0.231	0.209	0.202	0.189
17	0.231	0.415	24.382	28.499	2.966	1.001	0.494	0.334	0.284	0.175	0.150	0.195
18	0.203	0.434	23.825	26.784	2.639	0.973	0.494	0.343	0.269	0.238	0.189	0.209
19	0.209	0.578	29.808	28.982	2.472	0.880	0.494	0.301	0.268	0.195	0.195	0.216
20	0.196	0.567	31.194	26.611	2.230	0.728	0.494	0.301	0.276	0.189	0.202	0.231
21	0.182	0.841	32.580	22.790	2.018	0.789	0.484	0.309	0.268	0.189	0.189	0.182
22	0.189	1.043	28.623	14.911	1.906	0.802	0.425	0.300	0.231	0.202	0.170	0.182
23	0.209	0.975	29.328	18.366	1.656	0.728	0.415	0.309	0.268	0.196	0.151	0.202
24	0.238	0.866	23.715	18.664	1.537	0.728	0.434	0.309	0.253	0.224	0.133	0.209
25	0.238	0.475	22.511	14.417	1.406	0.300	0.425	0.284	0.253	0.216	0.138	0.261
26	0.445	0.853	21.177	12.611	1.311	0.704	0.444	0.317	0.246	0.231	0.133	0.261
27	0.670	1.473	19.725	11.168	1.189	0.601	0.444	0.309	0.253	0.202	0.163	0.292
28	0.866	2.827	15.610	10.081	1.358	0.646	0.444	0.305	0.276	0.210	0.133	0.253
29	0.879	4.980		8.323	1.889	0.680	0.406	0.300	0.300	0.223	0.133	0.300
30	0.840	4.445		6.215	1.762	0.612	0.406	0.292	0.300	0.189	0.169	0.309
31	0.828	7.073		5.853		0.536		0.360	0.253		0.133	

**Fuente:** PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2013



### Anexo 8. Balance Hídrico hoja electrónica. Año Normal 2005-2006

PERIODO	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ENTRADAS		DEMANDAS										Volumenes		
	Estación	Conducción	Ecológico			Riego			Qin	Qout	Vol in	Vol out	Operación	Almacenamiento	
	Puente Carretero	Quevedo-Macul							Diario (1)+(2)	Diario (4)+(7)					
	Q	Q	Q	Vol	Vacum	Q	Vol	Vacum	(m³/s)	(m³/s)	Hm³	Hm³		m³	m³
	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(Hm³)	(Hm³)	(m³/s)	(Hm³)	(Hm³)							
12/1/2005	0.209	0.00	1.36	0.12	0.12	0.00	0.00	0.00	0.209	1.36	0.018	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/2/2005	0.224	0.00	1.36	0.12	0.24	0.00	0.00	0.00	0.224	1.36	0.019	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/3/2005	0.202	0.00	1.36	0.12	0.35	0.00	0.00	0.00	0.202	1.36	0.017	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/4/2005	0.231	0.00	1.36	0.12	0.47	0.00	0.00	0.00	0.231	1.36	0.020	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/5/2005	0.182	0.00	1.36	0.12	0.59	0.00	0.00	0.00	0.182	1.36	0.016	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/6/2005	0.210	0.00	1.36	0.12	0.71	0.00	0.00	0.00	0.210	1.36	0.018	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/7/2005	0.202	0.00	1.36	0.12	0.82	0.00	0.00	0.00	0.202	1.36	0.017	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/8/2005	0.188	0.00	1.36	0.12	0.94	0.00	0.00	0.00	0.188	1.36	0.016	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/9/2005	0.175	0.00	1.36	0.12	1.06	0.00	0.00	0.00	0.175	1.36	0.015	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/10/2005	0.202	0.00	1.36	0.12	1.18	0.00	0.00	0.00	0.202	1.36	0.017	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/11/2005	0.210	0.00	1.36	0.12	1.29	0.00	0.00	0.00	0.210	1.36	0.018	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/12/2005	0.224	0.00	1.36	0.12	1.41	0.00	0.00	0.00	0.224	1.36	0.019	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/13/2005	0.261	0.00	1.36	0.12	1.53	0.00	0.00	0.00	0.261	1.36	0.023	0.12	-0.09	0.00	0.00
12/14/2005	0.216	0.00	1.36	0.12	1.65	0.00	0.00	0.00	0.216	1.36	0.019	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/15/2005	0.246	0.00	1.36	0.12	1.76	0.00	0.00	0.00	0.246	1.36	0.021	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/16/2005	0.245	0.00	1.36	0.12	1.88	0.00	0.00	0.00	0.245	1.36	0.021	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/17/2005	0.231	0.00	1.36	0.12	2.00	0.00	0.00	0.00	0.231	1.36	0.020	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/18/2005	0.203	0.00	1.36	0.12	2.12	0.00	0.00	0.00	0.203	1.36	0.018	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/19/2005	0.209	0.00	1.36	0.12	2.23	0.00	0.00	0.00	0.209	1.36	0.018	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/20/2005	0.196	0.00	1.36	0.12	2.35	0.00	0.00	0.00	0.196	1.36	0.017	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/21/2005	0.182	0.00	1.36	0.12	2.47	0.00	0.00	0.00	0.182	1.36	0.016	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/22/2005	0.189	0.00	1.36	0.12	2.59	0.00	0.00	0.00	0.189	1.36	0.016	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/23/2005	0.209	0.00	1.36	0.12	2.70	0.00	0.00	0.00	0.209	1.36	0.018	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/24/2005	0.238	0.00	1.36	0.12	2.82	0.00	0.00	0.00	0.238	1.36	0.021	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/25/2005	0.238	0.00	1.36	0.12	2.94	0.00	0.00	0.00	0.238	1.36	0.021	0.12	-0.10	0.00	0.00
12/26/2005	0.445	0.00	1.36	0.12	3.06	0.00	0.00	0.00	0.445	1.36	0.038	0.12	-0.08	0.00	0.00
12/27/2005	0.670	0.00	1.36	0.12	3.17	0.00	0.00	0.00	0.670	1.36	0.058	0.12	-0.06	0.00	0.00
12/28/2005	0.866	0.00	1.36	0.12	3.29	0.00	0.00	0.00	0.866	1.36	0.075	0.12	-0.04	0.00	0.00



12/29/2005	0.879	0.00	1.36	0.12	3.41	0.00	0.00	0.00	0.879	1.36	0.076	0.12	-0.04	0.00	0.00
12/30/2005	0.840	0.00	1.36	0.12	3.53	0.00	0.00	0.00	0.840	1.36	0.073	0.12	-0.04	0.00	0.00
12/31/2005	0.828	0.00	1.36	0.12	3.64	0.00	0.00	0.00	0.828	1.36	0.072	0.12	-0.05	0.00	0.00
1/1/2006	0.879	7.31	1.36	0.12	3.76	0.00	0.00	0.00	8.189	1.36	0.708	0.12	0.59	0.59	0.59
1/2/2006	0.853	7.31	1.36	0.12	3.88	0.00	0.00	0.00	8.163	1.36	0.705	0.12	0.59	0.59	1.18
1/3/2006	0.827	7.31	1.36	0.12	4.00	0.00	0.00	0.00	8.137	1.36	0.703	0.12	0.59	0.59	1.76
1/4/2006	0.879	7.31	1.36	0.12	4.11	0.00	0.00	0.00	8.189	1.36	0.708	0.12	0.59	0.59	2.35
1/5/2006	0.623	7.31	1.36	0.12	4.23	0.00	0.00	0.00	7.933	1.36	0.685	0.12	0.57	0.57	2.92
1/6/2006	0.612	7.31	1.36	0.12	4.35	0.00	0.00	0.00	7.922	1.36	0.684	0.12	0.57	0.57	3.49
1/7/2006	0.645	7.31	1.36	0.12	4.47	0.00	0.00	0.00	7.955	1.36	0.687	0.12	0.57	0.57	4.06
1/8/2006	0.612	7.31	1.36	0.12	4.58	0.00	0.00	0.00	7.922	1.36	0.684	0.12	0.57	0.57	4.63
1/9/2006	0.578	7.31	1.36	0.12	4.70	0.00	0.00	0.00	7.888	1.36	0.682	0.12	0.56	0.56	5.19
1/10/2006	0.557	7.31	1.36	0.12	4.82	0.00	0.00	0.00	7.867	1.36	0.680	0.12	0.56	0.56	5.75
1/11/2006	0.662	7.31	1.36	0.12	4.94	0.00	0.00	0.00	7.972	1.36	0.689	0.12	0.57	0.57	6.32
1/12/2006	0.535	7.31	1.36	0.12	5.05	0.00	0.00	0.00	7.845	1.36	0.678	0.12	0.56	0.56	6.88
1/13/2006	0.504	7.31	1.36	0.12	5.17	0.00	0.00	0.00	7.814	1.36	0.675	0.12	0.56	0.56	7.44
1/14/2006	0.504	7.31	1.36	0.12	5.29	0.00	0.00	0.00	7.814	1.36	0.675	0.12	0.56	0.56	8.00
1/15/2006	0.454	7.31	1.36	0.12	5.41	0.00	0.00	0.00	7.764	1.36	0.671	0.12	0.55	0.55	8.55
1/16/2006	0.474	7.31	1.36	0.12	5.52	0.00	0.00	0.00	7.784	1.36	0.673	0.12	0.56	0.56	9.11
1/17/2006	0.415	7.31	1.36	0.12	5.64	0.00	0.00	0.00	7.725	1.36	0.667	0.12	0.55	0.55	9.66
1/18/2006	0.434	7.31	1.36	0.12	5.76	0.00	0.00	0.00	7.744	1.36	0.669	0.12	0.55	0.55	10.21
1/19/2006	0.578	7.31	1.36	0.12	5.88	0.00	0.00	0.00	7.888	1.36	0.682	0.12	0.56	0.56	10.77
1/20/2006	0.567	7.31	1.36	0.12	5.99	0.00	0.00	0.00	7.877	1.36	0.681	0.12	0.56	0.56	11.34
1/21/2006	0.841	7.31	1.36	0.12	6.11	0.00	0.00	0.00	8.151	1.36	0.704	0.12	0.59	0.59	11.92
1/22/2006	1.043	7.31	1.36	0.12	6.23	0.00	0.00	0.00	8.353	1.36	0.722	0.12	0.60	0.60	12.53
1/23/2006	0.975	7.31	1.36	0.12	6.35	0.00	0.00	0.00	8.285	1.36	0.716	0.12	0.60	0.60	13.12
1/24/2006	0.866	7.31	1.36	0.12	6.46	0.00	0.00	0.00	8.176	1.36	0.706	0.12	0.59	0.59	13.71
1/25/2006	0.475	7.31	1.36	0.12	6.58	0.00	0.00	0.00	7.785	1.36	0.673	0.12	0.56	0.56	14.27
1/26/2006	0.853	7.31	1.36	0.12	6.70	0.00	0.00	0.00	8.163	1.36	0.705	0.12	0.59	0.59	14.86
1/27/2006	1.473	7.31	1.36	0.12	6.82	0.00	0.00	0.00	8.783	1.36	0.759	0.12	0.64	0.64	15.50
1/28/2006	2.827	7.31	1.36	0.12	6.93	0.00	0.00	0.00	10.137	1.36	0.876	0.12	0.76	0.76	16.26
1/29/2006	4.980	7.31	1.36	0.12	7.05	0.00	0.00	0.00	12.290	1.36	1.062	0.12	0.94	0.94	17.20
1/30/2006	4.445	7.31	1.36	0.12	7.17	0.00	0.00	0.00	11.755	1.36	1.016	0.12	0.90	0.90	18.10
1/31/2006	7.073	7.31	1.36	0.12	7.29	0.00	0.00	0.00	14.383	1.36	1.243	0.12	1.13	1.13	19.22
2/1/2006	11.534	7.31	1.36	0.12	7.40	0.00	0.00	0.00	18.844	1.36	1.628	0.12	1.51	1.51	20.73
2/2/2006	13.582	7.31	1.36	0.12	7.52	0.00	0.00	0.00	20.892	1.36	1.805	0.12	1.69	1.69	22.42
2/3/2006	13.367	7.31	1.36	0.12	7.64	0.00	0.00	0.00	20.677	1.36	1.786	0.12	1.67	1.67	24.09
2/4/2006	14.654	7.31	1.36	0.12	7.76	0.00	0.00	0.00	21.964	1.36	1.898	0.12	1.78	1.78	25.87
2/5/2006	17.202	7.31	1.36	0.12	7.87	0.00	0.00	0.00	24.512	1.36	2.118	0.12	2.00	2.00	27.87



2/6/2006	22.848	7.31	1.36	0.12	7.99	0.00	0.00	0.00	30.158	1.36	2.606	0.12	2.49	2.49	30.36
2/7/2006	27.076	7.31	1.36	0.12	8.11	0.00	0.00	0.00	34.386	1.36	2.971	0.12	2.85	2.85	33.21
2/8/2006	25.404	7.31	1.36	0.12	8.23	0.00	0.00	0.00	32.714	1.36	2.826	0.12	2.71	2.71	35.92
2/9/2006	19.094	7.31	1.36	0.12	8.34	0.00	0.00	0.00	26.404	1.36	2.281	0.12	2.16	2.16	38.09
2/10/2006	22.511	7.31	1.36	0.12	8.46	0.00	0.00	0.00	29.821	1.36	2.577	0.12	2.46	2.46	40.54
2/11/2006	25.515	7.31	1.36	0.12	8.58	0.00	0.00	0.00	32.825	1.36	2.836	0.12	2.72	2.72	43.26
2/12/2006	27.548	7.31	1.36	0.12	8.70	0.00	0.00	0.00	34.858	1.36	3.012	0.12	2.89	2.89	46.16
2/13/2006	29.344	7.31	1.36	0.12	8.81	0.00	0.00	0.00	36.654	1.36	3.167	0.12	3.05	3.05	49.21
2/14/2006	28.981	7.31	1.36	0.12	8.93	0.00	0.00	0.00	36.291	1.36	3.136	0.12	3.02	3.02	52.23
2/15/2006	27.785	7.31	1.36	0.12	9.05	0.00	0.00	0.00	35.095	1.36	3.032	0.12	2.91	2.91	55.14
2/16/2006	26.088	7.31	1.36	0.12	9.17	0.00	0.00	0.00	33.398	1.36	2.886	0.12	2.77	2.77	57.91
2/17/2006	24.382	7.31	1.36	0.12	9.28	0.00	0.00	0.00	31.692	1.36	2.738	0.12	2.62	2.62	60.53
2/18/2006	23.825	7.31	1.36	0.12	9.40	0.00	0.00	0.00	31.135	1.36	2.690	0.12	2.57	2.57	63.10
2/19/2006	29.808	7.31	1.36	0.12	9.52	0.00	0.00	0.00	37.118	1.36	3.207	0.12	3.09	3.09	66.19
2/20/2006	31.194	7.31	1.36	0.12	9.64	0.00	0.00	0.00	38.504	1.36	3.327	0.12	3.21	3.21	69.40
2/21/2006	32.580	7.31	1.36	0.12	9.75	0.00	0.00	0.00	39.890	1.36	3.446	0.12	3.33	3.33	72.73
2/22/2006	28.623	7.31	1.36	0.12	9.87	0.00	0.00	0.00	35.933	1.36	3.105	0.12	2.99	2.99	75.72
2/23/2006	29.328	7.31	1.36	0.12	9.99	0.00	0.00	0.00	36.638	1.36	3.166	0.12	3.05	3.05	78.76
2/24/2006	23.715	7.31	1.36	0.12	10.11	0.00	0.00	0.00	31.025	1.36	2.681	0.12	2.56	2.56	81.33
2/25/2006	22.511	7.31	1.36	0.12	10.22	0.00	0.00	0.00	29.821	1.36	2.577	0.12	2.46	2.46	83.79
2/26/2006	21.177	7.31	1.36	0.12	10.34	0.00	0.00	0.00	28.487	1.36	2.461	0.12	2.34	2.34	86.13
2/27/2006	19.725	7.31	1.36	0.12	10.46	0.00	0.00	0.00	27.035	1.36	2.336	0.12	2.22	2.22	88.35
2/28/2006	15.610	7.31	1.36	0.12	10.58	0.00	0.00	0.00	22.920	1.36	1.980	0.12	1.86	1.86	90.21
3/1/2006	10.421	7.31	1.36	0.12	10.69	0.00	0.00	0.00	17.731	1.36	1.532	0.12	1.41	1.41	91.63
3/2/2006	16.398	7.31	1.36	0.12	10.81	0.00	0.00	0.00	23.708	1.36	2.048	0.12	1.93	1.93	93.56
3/3/2006	20.496	7.31	1.36	0.12	10.93	0.00	0.00	0.00	27.806	1.36	2.402	0.12	2.28	2.28	95.84
3/4/2006	22.026	7.31	1.36	0.12	11.05	0.00	0.00	0.00	29.336	1.36	2.535	0.12	2.42	2.42	98.26
3/5/2006	21.599	7.31	1.36	0.12	11.16	0.00	0.00	0.00	28.909	1.36	2.498	0.12	2.38	2.38	100.64
3/6/2006	21.440	7.31	1.36	0.12	11.28	0.00	0.00	0.00	28.750	1.36	2.484	0.12	2.37	2.37	103.01
3/7/2006	24.891	7.31	1.36	0.12	11.40	0.00	0.00	0.00	32.201	1.36	2.782	0.12	2.66	2.66	105.67
3/8/2006	28.081	7.31	1.36	0.12	11.52	0.00	0.00	0.00	35.391	1.36	3.058	0.12	2.94	2.94	108.61
3/9/2006	27.843	7.31	1.36	0.12	11.63	0.00	0.00	0.00	35.153	1.36	3.037	0.12	2.92	2.92	111.53
3/10/2006	29.163	7.31	1.36	0.12	11.75	0.00	0.00	0.00	36.473	1.36	3.151	0.12	3.03	3.03	114.56
3/11/2006	28.260	7.31	1.36	0.12	11.87	0.00	0.00	0.00	35.570	1.36	3.073	0.12	2.96	2.96	117.52
3/12/2006	28.022	7.31	1.36	0.12	11.99	0.00	0.00	0.00	35.332	1.36	3.053	0.12	2.94	2.94	120.45
3/13/2006	28.862	7.31	1.36	0.12	12.10	0.00	0.00	0.00	36.172	1.36	3.125	0.12	3.01	3.01	123.46
3/14/2006	28.560	7.31	1.36	0.12	12.22	0.00	0.00	0.00	35.870	1.36	3.099	0.12	2.98	2.98	126.44
3/15/2006	26.031	7.31	1.36	0.12	12.34	0.00	0.00	0.00	33.341	1.36	2.881	0.12	2.76	2.76	129.21
3/16/2006	25.173	7.31	1.36	0.12	12.46	0.00	0.00	0.00	32.483	1.36	2.807	0.12	2.69	2.69	131.90



3/17/2006	28.499	7.31	1.36	0.12	12.57	0.00	0.00	0.00	35.809	1.36	3.094	0.12	2.98	2.98	134.87
3/18/2006	26.784	7.31	1.36	0.12	12.69	0.00	0.00	0.00	34.094	1.36	2.946	0.12	2.83	2.83	137.70
3/19/2006	28.982	7.31	1.36	0.12	12.81	0.00	0.00	0.00	36.292	1.36	3.136	0.12	3.02	3.02	140.72
3/20/2006	26.611	7.31	1.36	0.12	12.93	0.00	0.00	0.00	33.921	1.36	2.931	0.12	2.81	2.81	143.53
3/21/2006	22.790	7.31	1.36	0.12	13.04	0.00	0.00	0.00	30.100	1.36	2.601	0.12	2.48	2.48	146.02
3/22/2006	14.911	7.31	1.36	0.12	13.16	0.00	0.00	0.00	22.221	1.36	1.920	0.12	1.80	1.80	147.82
3/23/2006	18.366	7.31	1.36	0.12	13.28	0.00	0.00	0.00	25.676	1.36	2.218	0.12	2.10	2.10	149.92
3/24/2006	18.664	7.31	1.36	0.12	13.40	0.00	0.00	0.00	25.974	1.36	2.244	0.12	2.13	2.13	152.05
3/25/2006	14.417	7.31	1.36	0.12	13.51	0.00	0.00	0.00	21.727	1.36	1.877	0.12	1.76	1.76	153.81
3/26/2006	12.611	7.31	1.36	0.12	13.63	0.00	0.00	0.00	19.921	1.36	1.721	0.12	1.60	1.60	155.41
3/27/2006	11.168	7.31	1.36	0.12	13.75	0.00	0.00	0.00	18.478	1.36	1.597	0.12	1.48	1.48	156.89
3/28/2006	10.081	7.31	1.36	0.12	13.87	0.00	0.00	0.00	17.391	1.36	1.503	0.12	1.39	1.39	158.27
3/29/2006	8.323	7.31	1.36	0.12	13.98	0.00	0.00	0.00	15.633	1.36	1.351	0.12	1.23	1.23	159.51
3/30/2006	6.215	7.31	1.36	0.12	14.10	0.00	0.00	0.00	13.525	1.36	1.169	0.12	1.05	1.05	160.56
3/31/2006	5.853	7.31	1.36	0.12	14.22	0.00	0.00	0.00	13.163	1.36	1.137	0.12	1.02	1.02	161.58
4/1/2006	4.649	7.31	1.36	0.12	14.34	0.00	0.00	0.00	11.959	1.36	1.033	0.12	0.92	0.92	162.49
4/2/2006	4.541	7.31	1.36	0.12	14.45	0.00	0.00	0.00	11.851	1.36	1.024	0.12	0.91	0.91	163.40
4/3/2006	8.393	7.31	1.36	0.12	14.57	0.00	0.00	0.00	15.703	1.36	1.357	0.12	1.24	1.24	164.64
4/4/2006	26.325	7.31	1.36	0.12	14.69	0.00	0.00	0.00	33.635	1.36	2.906	0.12	2.79	2.79	167.43
4/5/2006	28.621	7.31	1.36	0.12	14.81	0.00	0.00	0.00	35.931	1.36	3.104	0.12	2.99	2.99	170.41
4/6/2006	26.851	7.31	1.36	0.12	14.92	0.00	0.00	0.00	34.161	1.36	2.952	0.12	2.83	2.83	173.25
4/7/2006	20.736	7.31	1.36	0.12	15.04	0.00	0.00	0.00	28.046	1.36	2.423	0.12	2.31	2.31	175.55
4/8/2006	17.004	7.31	1.36	0.12	15.16	0.00	0.00	0.00	24.314	1.36	2.101	0.12	1.98	1.98	177.54
4/9/2006	10.801	7.31	1.36	0.12	15.28	0.00	0.00	0.00	18.111	1.36	1.565	0.12	1.45	1.45	178.98
4/10/2006	7.535	7.31	1.36	0.12	15.39	0.00	0.00	0.00	14.845	1.36	1.283	0.12	1.17	1.17	180.15
4/11/2006	7.401	7.31	1.36	0.12	15.51	0.00	0.00	0.00	14.711	1.36	1.271	0.12	1.15	1.15	181.30
4/12/2006	5.092	7.31	1.36	0.12	15.63	0.00	0.00	0.00	12.402	1.36	1.072	0.12	0.95	0.95	182.26
4/13/2006	4.443	7.31	1.36	0.12	15.75	0.00	0.00	0.00	11.753	1.36	1.015	0.12	0.90	0.90	183.15
4/14/2006	4.514	7.31	1.36	0.12	15.86	0.00	0.00	0.00	11.824	1.36	1.022	0.12	0.90	0.90	184.06
4/15/2006	3.866	7.31	1.36	0.12	15.98	0.00	0.00	0.00	11.176	1.36	0.966	0.12	0.85	0.85	184.91
4/16/2006	3.379	7.31	1.36	0.12	16.10	0.00	0.00	0.00	10.689	1.36	0.924	0.12	0.81	0.81	185.71
4/17/2006	2.966	7.31	1.36	0.12	16.22	0.00	0.00	0.00	10.276	1.36	0.888	0.12	0.77	0.77	186.48
4/18/2006	2.639	7.31	1.36	0.12	16.33	0.00	0.00	0.00	9.949	1.36	0.860	0.12	0.74	0.74	187.23
4/19/2006	2.472	7.31	1.36	0.12	16.45	0.00	0.00	0.00	9.782	1.36	0.845	0.12	0.73	0.73	187.95
4/20/2006	2.230	7.31	1.36	0.12	16.57	0.00	0.00	0.00	9.540	1.36	0.824	0.12	0.71	0.71	188.66
4/21/2006	2.018	7.31	1.36	0.12	16.69	0.00	0.00	0.00	9.328	1.36	0.806	0.12	0.69	0.69	189.35
4/22/2006	1.906	7.31	1.36	0.12	16.80	0.00	0.00	0.00	9.216	1.36	0.796	0.12	0.68	0.68	190.03
4/23/2006	1.656	7.31	1.36	0.12	16.92	0.00	0.00	0.00	8.966	1.36	0.775	0.12	0.66	0.66	190.68
4/24/2006	1.537	7.31	1.36	0.12	17.04	0.00	0.00	0.00	8.847	1.36	0.764	0.12	0.65	0.65	191.33



4/25/2006	1.406	7.31	1.36	0.12	17.16	0.00	0.00	0.00	8.716	1.36	0.753	0.12	0.64	0.64	191.97
4/26/2006	1.311	7.31	1.36	0.12	17.27	0.00	0.00	0.00	8.621	1.36	0.745	0.12	0.63	0.63	192.59
4/27/2006	1.189	7.31	1.36	0.12	17.39	0.00	0.00	0.00	8.499	1.36	0.734	0.12	0.62	0.62	193.21
4/28/2006	1.358	7.31	1.36	0.12	17.51	0.00	0.00	0.00	8.668	1.36	0.749	0.12	0.63	0.63	193.84
4/29/2006	1.889	7.31	1.36	0.12	17.63	0.00	0.00	0.00	9.199	1.36	0.795	0.12	0.68	0.68	194.52
4/30/2006	1.762	7.31	1.36	0.12	17.74	0.00	0.00	0.00	9.072	1.36	0.784	0.12	0.67	0.67	195.19
5/1/2006	1.537	7.31	1.36	0.12	17.86	0.00	0.00	0.00	8.847	1.36	0.764	0.12	0.65	0.65	195.83
5/2/2006	1.588	7.31	1.36	0.12	17.98	0.00	0.00	0.00	8.898	1.36	0.769	0.12	0.65	0.65	196.48
5/3/2006	1.851	7.31	1.36	0.12	18.10	0.00	0.00	0.00	9.161	1.36	0.792	0.12	0.67	0.67	197.16
5/4/2006	1.888	7.31	1.36	0.12	18.21	0.00	0.00	0.00	9.198	1.36	0.795	0.12	0.68	0.68	197.84
5/5/2006	1.692	7.31	1.36	0.12	18.33	0.00	0.00	0.00	9.002	1.36	0.778	0.12	0.66	0.66	198.50
5/6/2006	1.605	7.31	1.36	0.12	18.45	0.00	0.00	0.00	8.915	1.36	0.770	0.12	0.65	0.65	199.15
5/7/2006	2.534	7.31	1.36	0.12	18.57	0.00	0.00	0.00	9.844	1.36	0.851	0.12	0.73	0.73	199.88
5/8/2006	2.514	7.31	1.36	0.12	18.68	0.00	0.00	0.00	9.824	1.36	0.849	0.12	0.73	0.73	200.61
5/9/2006	1.999	7.31	1.36	0.12	18.80	0.00	0.00	0.00	9.309	1.36	0.804	0.12	0.69	0.69	201.30
5/10/2006	1.943	7.31	1.36	0.12	18.92	0.00	0.00	0.00	9.253	1.36	0.799	0.12	0.68	0.68	201.98
5/11/2006	1.554	7.31	1.36	0.12	19.04	0.00	0.00	0.00	8.864	1.36	0.766	0.12	0.65	0.65	202.63
5/12/2006	1.374	7.31	1.36	0.12	19.15	0.00	0.00	0.00	8.684	1.36	0.750	0.12	0.63	0.63	203.26
5/13/2006	1.249	7.31	1.36	0.12	19.27	0.00	0.00	0.00	8.559	1.36	0.739	0.12	0.62	0.62	203.88
5/14/2006	1.281	7.31	1.36	0.12	19.39	0.00	0.00	0.00	8.591	1.36	0.742	0.12	0.62	0.62	204.51
5/15/2006	1.029	7.31	1.36	0.12	19.51	0.00	0.00	0.00	8.339	1.36	0.721	0.12	0.60	0.60	205.11
5/16/2006	1.071	7.31	1.36	0.12	19.62	0.00	0.00	0.00	8.381	1.36	0.724	0.12	0.61	0.61	205.72
5/17/2006	1.001	7.31	1.36	0.12	19.74	0.00	0.00	0.00	8.311	1.36	0.718	0.12	0.60	0.60	206.32
5/18/2006	0.973	7.31	1.36	0.12	19.86	0.00	0.00	0.00	8.283	1.36	0.716	0.12	0.60	0.60	206.92
5/19/2006	0.880	7.31	1.36	0.12	19.98	0.00	0.00	0.00	8.190	1.36	0.708	0.12	0.59	0.59	207.51
5/20/2006	0.728	7.31	1.36	0.12	20.09	0.00	0.00	0.00	8.038	1.36	0.695	0.12	0.58	0.58	208.08
5/21/2006	0.789	7.31	1.36	0.12	20.21	0.00	0.00	0.00	8.099	1.36	0.700	0.12	0.58	0.58	208.67
5/22/2006	0.802	7.31	1.36	0.12	20.33	0.00	0.00	0.00	8.112	1.36	0.701	0.12	0.58	0.58	209.25
5/23/2006	0.728	7.31	1.36	0.12	20.45	0.00	0.00	0.00	8.038	1.36	0.694	0.12	0.58	0.58	209.83
5/24/2006	0.728	7.31	1.36	0.12	20.56	0.00	0.00	0.00	8.038	1.36	0.695	0.12	0.58	0.58	210.40
5/25/2006	0.300	7.31	1.36	0.12	20.68	0.00	0.00	0.00	7.610	1.36	0.658	0.12	0.54	0.54	210.94
5/26/2006	0.704	7.31	1.36	0.12	20.80	0.00	0.00	0.00	8.014	1.36	0.692	0.12	0.57	0.57	211.52
5/27/2006	0.601	7.31	1.36	0.12	20.92	0.00	0.00	0.00	7.911	1.36	0.683	0.12	0.57	0.57	212.08
5/28/2006	0.646	7.31	1.36	0.12	21.03	0.00	0.00	0.00	7.956	1.36	0.687	0.12	0.57	0.57	212.65
5/29/2006	0.680	7.31	1.36	0.12	21.15	0.00	0.00	0.00	7.990	1.36	0.690	0.12	0.57	0.57	213.23
5/30/2006	0.612	7.31	1.36	0.12	21.27	0.00	0.00	0.00	7.922	1.36	0.684	0.12	0.57	0.57	213.79
5/31/2006	0.536	7.31	1.36	0.12	21.39	0.00	0.00	0.00	7.846	1.36	0.678	0.12	0.56	0.56	214.35
6/1/2006	0.557	0.00	1.36	0.12	21.50	0.00	0.00	0.00	0.557	1.36	0.048	0.12	-0.07	-0.07	214.29
6/2/2006	0.557	0.00	1.36	0.12	21.62	0.00	0.00	0.00	0.557	1.36	0.048	0.12	-0.07	-0.07	214.22



6/3/2006	0.536	0.00	1.36	0.12	21.74	0.00	0.00	0.00	0.536	1.36	0.046	0.12	-0.07	-0.07	214.14
6/4/2006	0.546	0.00	1.36	0.12	21.86	0.00	0.00	0.00	0.546	1.36	0.047	0.12	-0.07	-0.07	214.07
6/5/2006	0.535	0.00	1.36	0.12	21.97	0.00	0.00	0.00	0.535	1.36	0.046	0.12	-0.07	-0.07	214.00
6/6/2006	0.557	0.00	1.36	0.12	22.09	0.00	0.00	0.00	0.557	1.36	0.048	0.12	-0.07	-0.07	213.93
6/7/2006	0.567	0.00	1.36	0.12	22.21	0.00	0.00	0.00	0.567	1.36	0.049	0.12	-0.07	-0.07	213.87
6/8/2006	0.578	0.00	1.36	0.12	22.33	0.00	0.00	0.00	0.578	1.36	0.050	0.12	-0.07	-0.07	213.80
6/9/2006	0.623	0.00	1.36	0.12	22.44	0.00	0.00	0.00	0.623	1.36	0.054	0.12	-0.06	-0.06	213.73
6/10/2006	0.623	0.00	1.36	0.12	22.56	0.00	0.00	0.00	0.623	1.36	0.054	0.12	-0.06	-0.06	213.67
6/11/2006	0.646	0.00	1.36	0.12	22.68	0.00	0.00	0.00	0.646	1.36	0.056	0.12	-0.06	-0.06	213.61
6/12/2006	0.657	0.00	1.36	0.12	22.80	0.00	0.00	0.00	0.657	1.36	0.057	0.12	-0.06	-0.06	213.55
6/13/2006	0.601	0.00	1.36	0.12	22.91	0.00	0.00	0.00	0.601	1.36	0.052	0.12	-0.07	-0.07	213.48
6/14/2006	0.557	0.00	1.36	0.12	23.03	0.00	0.00	0.00	0.557	1.36	0.048	0.12	-0.07	-0.07	213.41
6/15/2006	0.536	0.00	1.36	0.12	23.15	0.00	0.00	0.00	0.536	1.36	0.046	0.12	-0.07	-0.07	213.34
6/16/2006	0.515	0.00	1.36	0.12	23.27	0.00	0.00	0.00	0.515	1.36	0.044	0.12	-0.07	-0.07	213.27
6/17/2006	0.494	0.00	1.36	0.12	23.38	0.00	0.00	0.00	0.494	1.36	0.043	0.12	-0.07	-0.07	213.19
6/18/2006	0.494	0.00	1.36	0.12	23.50	0.00	0.00	0.00	0.494	1.36	0.043	0.12	-0.07	-0.07	213.12
6/19/2006	0.494	0.00	1.36	0.12	23.62	0.00	0.00	0.00	0.494	1.36	0.043	0.12	-0.07	-0.07	213.04
6/20/2006	0.494	0.00	1.36	0.12	23.74	0.00	0.00	0.00	0.494	1.36	0.043	0.12	-0.07	-0.07	212.97
6/21/2006	0.484	0.00	1.36	0.12	23.85	0.00	0.00	0.00	0.484	1.36	0.042	0.12	-0.08	-0.08	212.89
6/22/2006	0.425	0.00	1.36	0.12	23.97	0.00	0.00	0.00	0.425	1.36	0.037	0.12	-0.08	-0.08	212.81
6/23/2006	0.415	0.00	1.36	0.12	24.09	0.00	0.00	0.00	0.415	1.36	0.036	0.12	-0.08	-0.08	212.73
6/24/2006	0.434	0.00	1.36	0.12	24.21	0.00	0.00	0.00	0.434	1.36	0.038	0.12	-0.08	-0.08	212.65
6/25/2006	0.425	0.00	1.36	0.12	24.32	0.00	0.00	0.00	0.425	1.36	0.037	0.12	-0.08	-0.08	212.57
6/26/2006	0.444	0.00	1.36	0.12	24.44	0.00	0.00	0.00	0.444	1.36	0.038	0.12	-0.08	-0.08	212.49
6/27/2006	0.444	0.00	1.36	0.12	24.56	0.00	0.00	0.00	0.444	1.36	0.038	0.12	-0.08	-0.08	212.41
6/28/2006	0.444	0.00	1.36	0.12	24.68	0.00	0.00	0.00	0.444	1.36	0.038	0.12	-0.08	-0.08	212.33
6/29/2006	0.406	0.00	1.36	0.12	24.79	0.00	0.00	0.00	0.406	1.36	0.035	0.12	-0.08	-0.08	212.25
6/30/2006	0.406	0.00	1.36	0.12	24.91	0.00	0.00	0.00	0.406	1.36	0.035	0.12	-0.08	-0.08	212.17
7/1/2006	0.397	0.00	1.36	0.12	25.03	5.53	0.32	0.32	0.397	6.89	0.034	0.44	-0.40	-0.40	211.77
7/2/2006	0.415	0.00	1.36	0.12	25.15	5.53	0.32	0.64	0.415	6.89	0.036	0.44	-0.40	-0.40	211.37
7/3/2006	0.415	0.00	1.36	0.12	25.26	5.53	0.32	0.95	0.415	6.89	0.036	0.44	-0.40	-0.40	210.97
7/4/2006	0.415	0.00	1.36	0.12	25.38	5.53	0.32	1.27	0.415	6.89	0.036	0.44	-0.40	-0.40	210.57
7/5/2006	0.392	0.00	1.36	0.12	25.50	5.53	0.32	1.59	0.392	6.89	0.034	0.44	-0.40	-0.40	210.17
7/6/2006	0.369	0.00	1.36	0.12	25.62	5.53	0.32	1.91	0.369	6.89	0.032	0.44	-0.40	-0.40	209.76
7/7/2006	0.369	0.00	1.36	0.12	25.73	5.53	0.32	2.23	0.369	6.89	0.032	0.44	-0.40	-0.40	209.36
7/8/2006	0.378	0.00	1.36	0.12	25.85	5.53	0.32	2.55	0.378	6.89	0.033	0.44	-0.40	-0.40	208.95
7/9/2006	0.369	0.00	1.36	0.12	25.97	5.53	0.32	2.86	0.369	6.89	0.032	0.44	-0.40	-0.40	208.55
7/10/2006	0.360	0.00	1.36	0.12	26.09	5.53	0.32	3.18	0.360	6.89	0.031	0.44	-0.40	-0.40	208.15
7/11/2006	0.360	0.00	1.36	0.12	26.20	5.53	0.32	3.50	0.360	6.89	0.031	0.44	-0.40	-0.40	207.74





7/12/2006	0.360	0.00	1.36	0.12	26.32	5.53	0.32	3.82	0.360	6.89	0.031	0.44	-0.40	-0.40	207.34
7/13/2006	0.360	0.00	1.36	0.12	26.44	5.53	0.32	4.14	0.360	6.89	0.031	0.44	-0.40	-0.40	206.93
7/14/2006	0.360	0.00	1.36	0.12	26.56	5.53	0.32	4.46	0.360	6.89	0.031	0.44	-0.40	-0.40	206.53
7/15/2006	0.334	0.00	1.36	0.12	26.67	5.53	0.32	4.77	0.334	6.89	0.029	0.44	-0.41	-0.41	206.12
7/16/2006	0.325	0.00	1.36	0.12	26.79	5.53	0.32	5.09	0.325	6.89	0.028	0.44	-0.41	-0.41	205.71
7/17/2006	0.334	0.00	1.36	0.12	26.91	5.53	0.32	5.41	0.334	6.89	0.029	0.44	-0.41	-0.41	205.31
7/18/2006	0.343	0.00	1.36	0.12	27.03	5.53	0.32	5.73	0.343	6.89	0.030	0.44	-0.41	-0.41	204.90
7/19/2006	0.301	0.00	1.36	0.12	27.14	5.53	0.32	6.05	0.301	6.89	0.026	0.44	-0.41	-0.41	204.49
7/20/2006	0.301	0.00	1.36	0.12	27.26	5.53	0.32	6.36	0.301	6.89	0.026	0.44	-0.41	-0.41	204.08
7/21/2006	0.309	0.00	1.36	0.12	27.38	5.53	0.32	6.68	0.309	6.89	0.027	0.44	-0.41	-0.41	203.67
7/22/2006	0.300	0.00	1.36	0.12	27.50	5.53	0.32	7.00	0.300	6.89	0.026	0.44	-0.41	-0.41	203.26
7/23/2006	0.309	0.00	1.36	0.12	27.61	5.53	0.32	7.32	0.309	6.89	0.027	0.44	-0.41	-0.41	202.85
7/24/2006	0.309	0.00	1.36	0.12	27.73	5.53	0.32	7.64	0.309	6.89	0.027	0.44	-0.41	-0.41	202.44
7/25/2006	0.284	0.00	1.36	0.12	27.85	5.53	0.32	7.96	0.284	6.89	0.025	0.44	-0.41	-0.41	202.03
7/26/2006	0.317	0.00	1.36	0.12	27.97	5.53	0.32	8.27	0.317	6.89	0.027	0.44	-0.41	-0.41	201.62
7/27/2006	0.309	0.00	1.36	0.12	28.08	5.53	0.32	8.59	0.309	6.89	0.027	0.44	-0.41	-0.41	201.21
7/28/2006	0.305	0.00	1.36	0.12	28.20	5.53	0.32	8.91	0.305	6.89	0.026	0.44	-0.41	-0.41	200.81
7/29/2006	0.300	0.00	1.36	0.12	28.32	5.53	0.32	9.23	0.300	6.89	0.026	0.44	-0.41	-0.41	200.40
7/30/2006	0.292	0.00	1.36	0.12	28.44	5.53	0.32	9.55	0.292	6.89	0.025	0.44	-0.41	-0.41	199.99
7/31/2006	0.360	0.00	1.36	0.12	28.55	5.53	0.32	9.87	0.360	6.89	0.031	0.44	-0.40	-0.40	199.58
8/1/2006	0.360	0.00	1.36	0.12	28.67	5.53	0.32	10.18	0.360	6.89	0.031	0.44	-0.40	-0.40	199.18
8/2/2006	0.343	0.00	1.36	0.12	28.79	5.53	0.32	10.50	0.343	6.89	0.030	0.44	-0.41	-0.41	198.77
8/3/2006	0.325	0.00	1.36	0.12	28.91	5.53	0.32	10.82	0.325	6.89	0.028	0.44	-0.41	-0.41	198.36
8/4/2006	0.292	0.00	1.36	0.12	29.02	5.53	0.32	11.14	0.292	6.89	0.025	0.44	-0.41	-0.41	197.95
8/5/2006	0.309	0.00	1.36	0.12	29.14	5.53	0.32	11.46	0.309	6.89	0.027	0.44	-0.41	-0.41	197.54
8/6/2006	0.292	0.00	1.36	0.12	29.26	5.53	0.32	11.78	0.292	6.89	0.025	0.44	-0.41	-0.41	197.13
8/7/2006	0.317	0.00	1.36	0.12	29.38	5.53	0.32	12.09	0.317	6.89	0.027	0.44	-0.41	-0.41	196.72
8/8/2006	0.325	0.00	1.36	0.12	29.49	5.53	0.32	12.41	0.325	6.89	0.028	0.44	-0.41	-0.41	196.32
8/9/2006	0.261	0.00	1.36	0.12	29.61	5.53	0.32	12.73	0.261	6.89	0.023	0.44	-0.41	-0.41	195.90
8/10/2006	0.245	0.00	1.36	0.12	29.73	5.53	0.32	13.05	0.245	6.89	0.021	0.44	-0.41	-0.41	195.49
8/11/2006	0.227	0.00	1.36	0.12	29.85	5.53	0.32	13.37	0.227	6.89	0.020	0.44	-0.42	-0.42	195.07
8/12/2006	0.209	0.00	1.36	0.12	29.96	5.53	0.32	13.68	0.209	6.89	0.018	0.44	-0.42	-0.42	194.65
8/13/2006	0.284	0.00	1.36	0.12	30.08	5.53	0.32	14.00	0.284	6.89	0.025	0.44	-0.41	-0.41	194.24
8/14/2006	0.292	0.00	1.36	0.12	30.20	5.53	0.32	14.32	0.292	6.89	0.025	0.44	-0.41	-0.41	193.83
8/15/2006	0.300	0.00	1.36	0.12	30.32	5.53	0.32	14.64	0.300	6.89	0.026	0.44	-0.41	-0.41	193.42
8/16/2006	0.231	0.00	1.36	0.12	30.43	5.53	0.32	14.96	0.231	6.89	0.020	0.44	-0.42	-0.42	193.01
8/17/2006	0.284	0.00	1.36	0.12	30.55	5.53	0.32	15.28	0.284	6.89	0.025	0.44	-0.41	-0.41	192.60
8/18/2006	0.269	0.00	1.36	0.12	30.67	5.53	0.32	15.59	0.269	6.89	0.023	0.44	-0.41	-0.41	192.18
8/19/2006	0.268	0.00	1.36	0.12	30.79	5.53	0.32	15.91	0.268	6.89	0.023	0.44	-0.41	-0.41	191.77



8/20/2006	0.276	0.00	1.36	0.12	30.90	5.53	0.32	16.23	0.276	6.89	0.024	0.44	-0.41	-0.41	191.36
8/21/2006	0.268	0.00	1.36	0.12	31.02	5.53	0.32	16.55	0.268	6.89	0.023	0.44	-0.41	-0.41	190.95
8/22/2006	0.231	0.00	1.36	0.12	31.14	5.53	0.32	16.87	0.231	6.89	0.020	0.44	-0.42	-0.42	190.53
8/23/2006	0.268	0.00	1.36	0.12	31.26	5.53	0.32	17.19	0.268	6.89	0.023	0.44	-0.41	-0.41	190.12
8/24/2006	0.253	0.00	1.36	0.12	31.37	5.53	0.32	17.50	0.253	6.89	0.022	0.44	-0.41	-0.41	189.70
8/25/2006	0.253	0.00	1.36	0.12	31.49	5.53	0.32	17.82	0.253	6.89	0.022	0.44	-0.41	-0.41	189.29
8/26/2006	0.246	0.00	1.36	0.12	31.61	5.53	0.32	18.14	0.246	6.89	0.021	0.44	-0.41	-0.41	188.88
8/27/2006	0.253	0.00	1.36	0.12	31.73	5.53	0.32	18.46	0.253	6.89	0.022	0.44	-0.41	-0.41	188.46
8/28/2006	0.276	0.00	1.36	0.12	31.84	5.53	0.32	18.78	0.276	6.89	0.024	0.44	-0.41	-0.41	188.05
8/29/2006	0.300	0.00	1.36	0.12	31.96	5.53	0.32	19.09	0.300	6.89	0.026	0.44	-0.41	-0.41	187.64
8/30/2006	0.300	0.00	1.36	0.12	32.08	5.53	0.32	19.41	0.300	6.89	0.026	0.44	-0.41	-0.41	187.23
8/31/2006	0.253	0.00	1.36	0.12	32.20	5.53	0.32	19.73	0.253	6.89	0.022	0.44	-0.41	-0.41	186.82
9/1/2006	0.245	0.00	1.36	0.12	32.31	5.53	0.32	20.05	0.245	6.89	0.021	0.44	-0.41	-0.41	186.40
9/2/2006	0.246	0.00	1.36	0.12	32.43	5.53	0.32	20.37	0.246	6.89	0.021	0.44	-0.41	-0.41	185.99
9/3/2006	0.257	0.00	1.36	0.12	32.55	5.53	0.32	20.69	0.257	6.89	0.022	0.44	-0.41	-0.41	185.57
9/4/2006	0.268	0.00	1.36	0.12	32.67	5.53	0.32	21.00	0.268	6.89	0.023	0.44	-0.41	-0.41	185.16
9/5/2006	0.245	0.00	1.36	0.12	32.78	5.53	0.32	21.32	0.245	6.89	0.021	0.44	-0.41	-0.41	184.75
9/6/2006	0.238	0.00	1.36	0.12	32.90	5.53	0.32	21.64	0.238	6.89	0.021	0.44	-0.42	-0.42	184.33
9/7/2006	0.209	0.00	1.36	0.12	33.02	5.53	0.32	21.96	0.209	6.89	0.018	0.44	-0.42	-0.42	183.91
9/8/2006	0.202	0.00	1.36	0.12	33.14	5.53	0.32	22.28	0.202	6.89	0.017	0.44	-0.42	-0.42	183.50
9/9/2006	0.202	0.00	1.36	0.12	33.25	5.53	0.32	22.60	0.202	6.89	0.017	0.44	-0.42	-0.42	183.08
9/10/2006	0.238	0.00	1.36	0.12	33.37	5.53	0.32	22.91	0.238	6.89	0.021	0.44	-0.42	-0.42	182.66
9/11/2006	0.216	0.00	1.36	0.12	33.49	5.53	0.32	23.23	0.216	6.89	0.019	0.44	-0.42	-0.42	182.25
9/12/2006	0.202	0.00	1.36	0.12	33.61	5.53	0.32	23.55	0.202	6.89	0.017	0.44	-0.42	-0.42	181.83
9/13/2006	0.216	0.00	1.36	0.12	33.72	5.53	0.32	23.87	0.216	6.89	0.019	0.44	-0.42	-0.42	181.41
9/14/2006	0.202	0.00	1.36	0.12	33.84	5.53	0.32	24.19	0.202	6.89	0.017	0.44	-0.42	-0.42	180.99
9/15/2006	0.206	0.00	1.36	0.12	33.96	5.53	0.32	24.50	0.206	6.89	0.018	0.44	-0.42	-0.42	180.57
9/16/2006	0.209	0.00	1.36	0.12	34.08	5.53	0.32	24.82	0.209	6.89	0.018	0.44	-0.42	-0.42	180.16
9/17/2006	0.175	0.00	1.36	0.12	34.19	5.53	0.32	25.14	0.175	6.89	0.015	0.44	-0.42	-0.42	179.74
9/18/2006	0.238	0.00	1.36	0.12	34.31	5.53	0.32	25.46	0.238	6.89	0.021	0.44	-0.42	-0.42	179.32
9/19/2006	0.195	0.00	1.36	0.12	34.43	5.53	0.32	25.78	0.195	6.89	0.017	0.44	-0.42	-0.42	178.90
9/20/2006	0.189	0.00	1.36	0.12	34.55	5.53	0.32	26.10	0.189	6.89	0.016	0.44	-0.42	-0.42	178.48
9/21/2006	0.189	0.00	1.36	0.12	34.66	5.53	0.32	26.41	0.189	6.89	0.016	0.44	-0.42	-0.42	178.06
9/22/2006	0.202	0.00	1.36	0.12	34.78	5.53	0.32	26.73	0.202	6.89	0.017	0.44	-0.42	-0.42	177.64
9/23/2006	0.196	0.00	1.36	0.12	34.90	5.53	0.32	27.05	0.196	6.89	0.017	0.44	-0.42	-0.42	177.23
9/24/2006	0.224	0.00	1.36	0.12	35.02	5.53	0.32	27.37	0.224	6.89	0.019	0.44	-0.42	-0.42	176.81
9/25/2006	0.216	0.00	1.36	0.12	35.13	5.53	0.32	27.69	0.216	6.89	0.019	0.44	-0.42	-0.42	176.39
9/26/2006	0.231	0.00	1.36	0.12	35.25	5.53	0.32	28.01	0.231	6.89	0.020	0.44	-0.42	-0.42	175.98
9/27/2006	0.202	0.00	1.36	0.12	35.37	5.53	0.32	28.32	0.202	6.89	0.017	0.44	-0.42	-0.42	175.56





9/28/2006	0.210	0.00	1.36	0.12	35.49	5.53	0.32	28.64	0.210	6.89	0.018	0.44	-0.42	-0.42	175.14
9/29/2006	0.223	0.00	1.36	0.12	35.60	5.53	0.32	28.96	0.223	6.89	0.019	0.44	-0.42	-0.42	174.72
9/30/2006	0.189	0.00	1.36	0.12	35.72	5.53	0.32	29.28	0.189	6.89	0.016	0.44	-0.42	-0.42	174.30
10/1/2006	0.185	0.00	1.36	0.12	35.84	5.53	0.32	29.60	0.185	6.89	0.016	0.44	-0.42	-0.42	173.88
10/2/2006	0.182	0.00	1.36	0.12	35.96	5.53	0.32	29.92	0.182	6.89	0.016	0.44	-0.42	-0.42	173.46
10/3/2006	0.189	0.00	1.36	0.12	36.07	5.53	0.32	30.23	0.189	6.89	0.016	0.44	-0.42	-0.42	173.04
10/4/2006	0.202	0.00	1.36	0.12	36.19	5.53	0.32	30.55	0.202	6.89	0.017	0.44	-0.42	-0.42	172.63
10/5/2006	0.176	0.00	1.36	0.12	36.31	5.53	0.32	30.87	0.176	6.89	0.015	0.44	-0.42	-0.42	172.21
10/6/2006	0.175	0.00	1.36	0.12	36.43	5.53	0.32	31.19	0.175	6.89	0.015	0.44	-0.42	-0.42	171.79
10/7/2006	0.182	0.00	1.36	0.12	36.54	5.53	0.32	31.51	0.182	6.89	0.016	0.44	-0.42	-0.42	171.37
10/8/2006	0.175	0.00	1.36	0.12	36.66	5.53	0.32	31.82	0.175	6.89	0.015	0.44	-0.42	-0.42	170.94
10/9/2006	0.195	0.00	1.36	0.12	36.78	5.53	0.32	32.14	0.195	6.89	0.017	0.44	-0.42	-0.42	170.53
10/10/2006	0.169	0.00	1.36	0.12	36.90	5.53	0.32	32.46	0.169	6.89	0.015	0.44	-0.42	-0.42	170.10
10/11/2006	0.202	0.00	1.36	0.12	37.01	5.53	0.32	32.78	0.202	6.89	0.017	0.44	-0.42	-0.42	169.69
10/12/2006	0.163	0.00	1.36	0.12	37.13	5.53	0.32	33.10	0.163	6.89	0.014	0.44	-0.42	-0.42	169.26
10/13/2006	0.166	0.00	1.36	0.12	37.25	5.53	0.32	33.42	0.166	6.89	0.014	0.44	-0.42	-0.42	168.84
10/14/2006	0.169	0.00	1.36	0.12	37.37	5.53	0.32	33.73	0.169	6.89	0.015	0.44	-0.42	-0.42	168.42
10/15/2006	0.216	0.00	1.36	0.12	37.48	5.53	0.32	34.05	0.216	6.89	0.019	0.44	-0.42	-0.42	168.00
10/16/2006	0.202	0.00	1.36	0.12	37.60	5.53	0.32	34.37	0.202	6.89	0.017	0.44	-0.42	-0.42	167.59
10/17/2006	0.150	0.00	1.36	0.12	37.72	5.53	0.32	34.69	0.150	6.89	0.013	0.44	-0.42	-0.42	167.16
10/18/2006	0.189	0.00	1.36	0.12	37.84	5.53	0.32	35.01	0.189	6.89	0.016	0.44	-0.42	-0.42	166.74
10/19/2006	0.195	0.00	1.36	0.12	37.95	5.53	0.32	35.33	0.195	6.89	0.017	0.44	-0.42	-0.42	166.33
10/20/2006	0.202	0.00	1.36	0.12	38.07	5.53	0.32	35.64	0.202	6.89	0.017	0.44	-0.42	-0.42	165.91
10/21/2006	0.189	0.00	1.36	0.12	38.19	5.53	0.32	35.96	0.189	6.89	0.016	0.44	-0.42	-0.42	165.49
10/22/2006	0.170	0.00	1.36	0.12	38.31	5.53	0.32	36.28	0.170	6.89	0.015	0.44	-0.42	-0.42	165.07
10/23/2006	0.151	0.00	1.36	0.12	38.42	5.53	0.32	36.60	0.151	6.89	0.013	0.44	-0.42	-0.42	164.64
10/24/2006	0.133	0.00	1.36	0.12	38.54	5.53	0.32	36.92	0.133	6.89	0.011	0.44	-0.42	-0.42	164.22
10/25/2006	0.138	0.00	1.36	0.12	38.66	5.53	0.32	37.23	0.138	6.89	0.012	0.44	-0.42	-0.42	163.80
10/26/2006	0.133	0.00	1.36	0.12	38.78	5.53	0.32	37.55	0.133	6.89	0.011	0.44	-0.42	-0.42	163.37
10/27/2006	0.163	0.00	1.36	0.12	38.89	5.53	0.32	37.87	0.163	6.89	0.014	0.44	-0.42	-0.42	162.95
10/28/2006	0.133	0.00	1.36	0.12	39.01	5.53	0.32	38.19	0.133	6.89	0.011	0.44	-0.42	-0.42	162.53
10/29/2006	0.133	0.00	1.36	0.12	39.13	5.53	0.32	38.51	0.133	6.89	0.011	0.44	-0.42	-0.42	162.10
10/30/2006	0.169	0.00	1.36	0.12	39.25	5.53	0.32	38.83	0.169	6.89	0.015	0.44	-0.42	-0.42	161.68
10/31/2006	0.133	0.00	1.36	0.12	39.36	5.53	0.32	39.14	0.133	6.89	0.011	0.44	-0.42	-0.42	161.26
11/1/2006	0.141	0.00	1.36	0.12	39.48	0.00	0.00	39.14	0.141	1.36	0.012	0.12	-0.11	-0.11	161.15
11/2/2006	0.150	0.00	1.36	0.12	39.60	0.00	0.00	39.14	0.150	1.36	0.013	0.12	-0.10	-0.10	161.05
11/3/2006	0.150	0.00	1.36	0.12	39.72	0.00	0.00	39.14	0.150	1.36	0.013	0.12	-0.10	-0.10	160.94
11/4/2006	0.138	0.00	1.36	0.12	39.83	0.00	0.00	39.14	0.138	1.36	0.012	0.12	-0.11	-0.11	160.84
11/5/2006	0.150	0.00	1.36	0.12	39.95	0.00	0.00	39.14	0.150	1.36	0.013	0.12	-0.10	-0.10	160.73



11/6/2006	0.195	0.00	1.36	0.12	40.07	0.00	0.00	39.14	0.195	1.36	0.017	0.12	-0.10	-0.10	160.63
11/7/2006	0.156	0.00	1.36	0.12	40.19	0.00	0.00	39.14	0.156	1.36	0.014	0.12	-0.10	-0.10	160.53
11/8/2006	0.163	0.00	1.36	0.12	40.30	0.00	0.00	39.14	0.163	1.36	0.014	0.12	-0.10	-0.10	160.42
11/9/2006	0.195	0.00	1.36	0.12	40.42	0.00	0.00	39.14	0.195	1.36	0.017	0.12	-0.10	-0.10	160.32
11/10/2006	0.163	0.00	1.36	0.12	40.54	0.00	0.00	39.14	0.163	1.36	0.014	0.12	-0.10	-0.10	160.22
11/11/2006	0.150	0.00	1.36	0.12	40.66	0.00	0.00	39.14	0.150	1.36	0.013	0.12	-0.10	-0.10	160.11
11/12/2006	0.163	0.00	1.36	0.12	40.77	0.00	0.00	39.14	0.163	1.36	0.014	0.12	-0.10	-0.10	160.01
11/13/2006	0.209	0.00	1.36	0.12	40.89	0.00	0.00	39.14	0.209	1.36	0.018	0.12	-0.10	-0.10	159.91
11/14/2006	0.156	0.00	1.36	0.12	41.01	0.00	0.00	39.14	0.156	1.36	0.014	0.12	-0.10	-0.10	159.81
11/15/2006	0.189	0.00	1.36	0.12	41.13	0.00	0.00	39.14	0.189	1.36	0.016	0.12	-0.10	-0.10	159.71
11/16/2006	0.189	0.00	1.36	0.12	41.24	0.00	0.00	39.14	0.189	1.36	0.016	0.12	-0.10	-0.10	159.61
11/17/2006	0.195	0.00	1.36	0.12	41.36	0.00	0.00	39.14	0.195	1.36	0.017	0.12	-0.10	-0.10	159.50
11/18/2006	0.209	0.00	1.36	0.12	41.48	0.00	0.00	39.14	0.209	1.36	0.018	0.12	-0.10	-0.10	159.41
11/19/2006	0.216	0.00	1.36	0.12	41.60	0.00	0.00	39.14	0.216	1.36	0.019	0.12	-0.10	-0.10	159.31
11/20/2006	0.231	0.00	1.36	0.12	41.71	0.00	0.00	39.14	0.231	1.36	0.020	0.12	-0.10	-0.10	159.21
11/21/2006	0.182	0.00	1.36	0.12	41.83	0.00	0.00	39.14	0.182	1.36	0.016	0.12	-0.10	-0.10	159.11
11/22/2006	0.182	0.00	1.36	0.12	41.95	0.00	0.00	39.14	0.182	1.36	0.016	0.12	-0.10	-0.10	159.01
11/23/2006	0.202	0.00	1.36	0.12	42.07	0.00	0.00	39.14	0.202	1.36	0.017	0.12	-0.10	-0.10	158.91
11/24/2006	0.209	0.00	1.36	0.12	42.18	0.00	0.00	39.14	0.209	1.36	0.018	0.12	-0.10	-0.10	158.81
11/25/2006	0.261	0.00	1.36	0.12	42.30	0.00	0.00	39.14	0.261	1.36	0.023	0.12	-0.09	-0.09	158.71
11/26/2006	0.261	0.00	1.36	0.12	42.42	0.00	0.00	39.14	0.261	1.36	0.023	0.12	-0.09	-0.09	158.62
11/27/2006	0.292	0.00	1.36	0.12	42.54	0.00	0.00	39.14	0.292	1.36	0.025	0.12	-0.09	-0.09	158.52
11/28/2006	0.253	0.00	1.36	0.12	42.65	0.00	0.00	39.14	0.253	1.36	0.022	0.12	-0.10	-0.10	158.43
11/29/2006	0.300	0.00	1.36	0.12	42.77	0.00	0.00	39.14	0.300	1.36	0.026	0.12	-0.09	-0.09	158.34
11/30/2006	0.309	0.00	1.36	0.12	42.89	0.00	0.00	39.14	0.309	1.36	0.027	0.12	-0.09	-0.09	158.25
<b>Total</b>	<b>1644.</b>	<b>1103.8</b>	<b>496.4</b>	<b>42.89</b>		<b>679.59</b>	<b>39.14</b>		<b>2748.70</b>	<b>1175.99</b>	<b>237.49</b>	<b>82.03</b>			<b>158.25</b>